КАССА ВЗАИМОПОМОЩИ ЛЕНИНГРАДСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА ИМЕНИ М. И. КАЛИНИНА

39.82.1
К 18
9785т

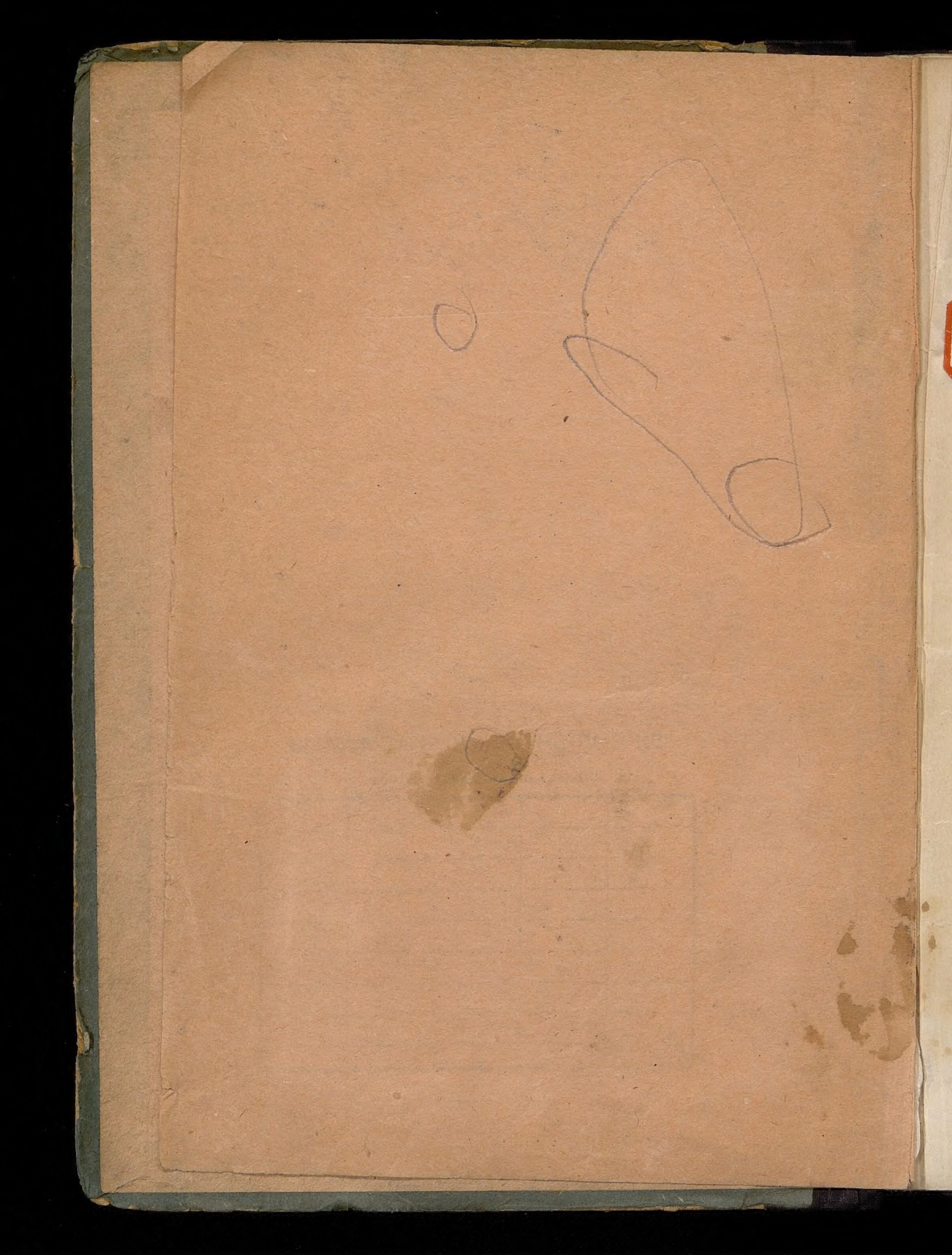
Инж. А. А. КАМЕНСКИЙ

УСТРОЙСТВО ПУТИ ГОРОДСКИХ И ПРИГОРОДНЫХ ТРАМВАЕВ

Техническая библиотека Треста Ленгеникум

ИЗДАТЕЛЬСТВО
КУБУЧ
ЛЕНИНГРАД
1927

ВОЗВРАТИТЬ КНИГУ НЕ ПОЗЖЕ
обозначенного здесь срока



39.82.1
К18

КАССА ВЗАИМОПОМОЩИ ЛЕНИНГРАДСКОГО
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА имени М. И. КАЛИНИНА

625.143'46
К18

А. А. КАМЕНСКИЙ
ИНЖЕНЕР ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ

625.143:625.46
К18

УСТРОЙСТВО ПУТИ ГОРОДСКИХ И ПРИГОРОДНЫХ ТРАМВАЕВ

ТЕХНИЧЕСКАЯ БИБЛИОТЕКА
Инвентарный
№ 9785
ТРЕ 18
Лентрамвай

ИЗДАТЕЛЬСТВО
КУБУЧ
ЛЕНИНГРАД
1927

Включено
в каталог

ТИПОГРАФИЯ ОБЩЕСТВА
„СТАРЫЙ ПЕТЕРБУРГ“
ЛЕНИНГРАД, ПРАЧЕШНЫЙ, 6

Ленинградский Гублит № 19041. Напечатано 3500 экз. 27 л.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящая книга составлена применительно к курсу лекций, читаемых мною на Инженерно-Строительном факультете Ленинградского Политехнического Института.

При изложении предмета я предполагаю знакомство читателя с основными принципами устройства рельсовых дорог вообще.

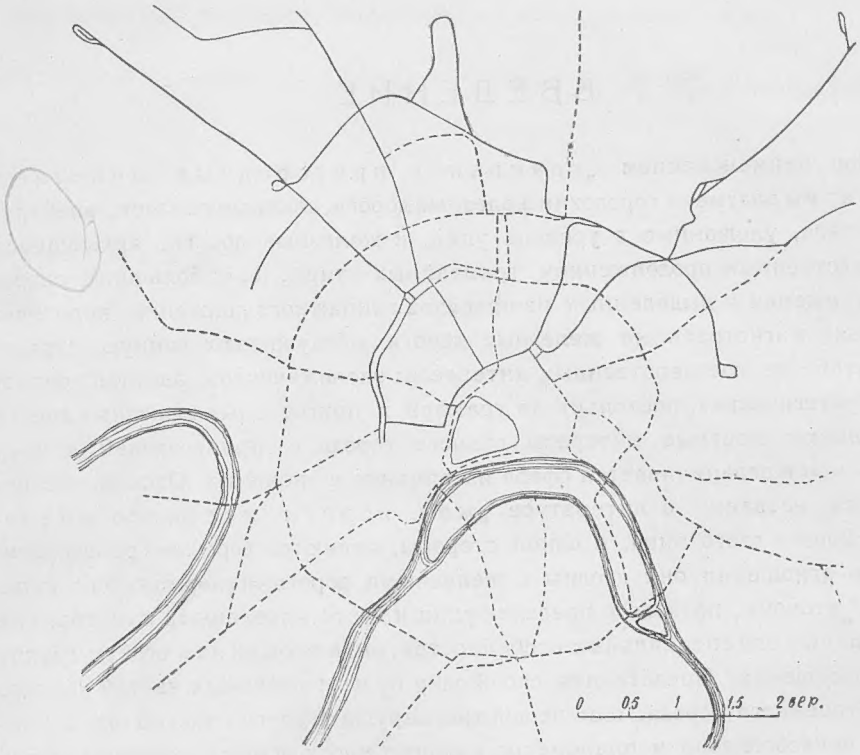
Первоначальное издание 1913 г., составленное совместно с профессором I. Р. Стецевичем, — „Строительная часть трамваев“ — переработано мною полностью, как по содержанию, так и по системе изложения и дополнено по данным иностранной технической литературы и личного строительного опыта.

В зависимости от современных условий издательства я вынужден был частично использовать чертежи первого издания, особенно в главе „ходовые части подвижного состава“. Хотя приводимые конструкции и не вполне отвечают последним заграничным типам, но применяются у нас и поныне и достаточно иллюстрируют основные схемы, поскольку это необходимо для уяснения работы пути.

Отсутствие современных изданий, обнимающих предмет в его полном объеме, и, с другой стороны, начинающееся строительство по развитию и переустройству существующих и постройке новых трамваев, наконец, постройка пригородных линий побудили меня не задерживать выпуск книги и потому некоторые вопросы, касающиеся главным образом нормировки верхнего строения, разрабатывающиеся в настоящее время, не могли получить полного освещения.

Характер сети в плане.

План любого города представляет собой сеть улиц пересекающихся и разветвляющихся под самыми разнообразными углами. Кварталы между улиц или густо застроены в центре, или представляют пустыри на окраинах. Густая сеть улиц в центральных частях города все более и более редеет по направлению к окраинам и, наконец, за пределами города соби-



Черт. 1.
Сеть трамвайных путей г. Москвы 1913 г.

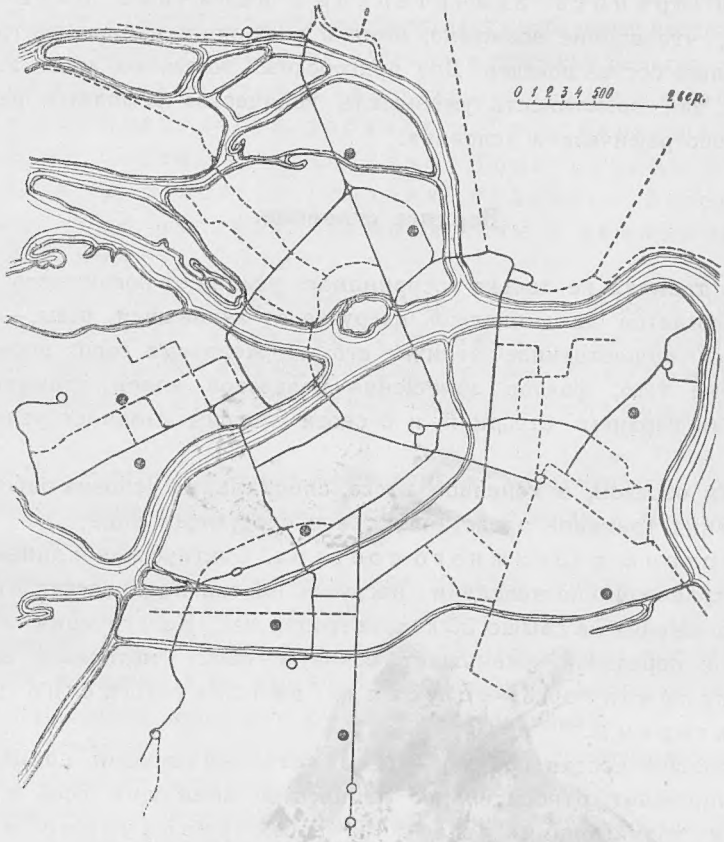
рается в несколько шоссейных дорог, соединяющих город с близлежащими населенными пунктами. В том бесконечном разнообразии, которое наблюдается в планировке улиц разных городов, выделяют обычно два наиболее характерных типа: 1) радиальный, в котором главные улицы, начинаясь у окраин, сходятся в центре и соединены между собою кольцевыми улицами и 2) прямоугольный, представляющий сеть взаимно перпендикулярных улиц. Не входя в оценку преимуществ той или другой системы, отметим, что сеть трамвайных линий представляет собой лишь более редкую сеть улиц, и посему все характерные особенности плана

улиц полностью отражаются в плане трамвайной сети. Для характеристики приведем планы трамвайных сетей Москвы и Ленинграда.

Сеть Москвы (см. черт. 1) является примером радиальной сети.

Сеть Ленинграда (см. черт. 2) характерна, как пример прямоугольн. сети.

Как в том, так и в другом случае ярко выявляется узловой характер сети с большим количеством пересечений, ответвлений и поворотов линий. При этом, недостаток места



Черт. 2.
Сеть трамвайных путей г. Ленинграда 1913 г.

при поворотах и пересечениях улиц влечет за собой трассировку закруглений по кривым малых радиусов.

На окраинах и за пределами города линии пригородных железных дорог, в соответствии с планом застройки, теряют свой узловой характер, но гибкость трассы, т.-е. трассировка закруглений по кривым малых радиусов, должна быть сохранена и для них, как средство пройти данный заселенный пункт с наилучшим обслуживанием при наименьшем отчуждении земель и сносе зданий.

Продольный профиль.

Путь трамвая укладывается в пределах замощения улицы без нарушения ее общего поперечного профиля и в полном соответствии с требованиями удобного экипажного движения и рационального отвода воды. Отсюда ясно, что продольный профиль трамвая следит за продольным профилем улицы. В зависимости от этого неизбежно приходится принять значительные величины подъемов и уклонов, что вполне возможно, имея в виду применение электрической тяги и малый состав поездов. Для пригородных железных дорог этот фактор ценен, как возможность уменьшить количество земляных работ при трудных топографических условиях.

Верхнее строение.

Путь трамвая не только воспринимает усилия от подвижного состава, но и подвергается динамической нагрузке от экипажной езды, — в этом заключается существенное отличие его от железных дорог нормального типа. Кроме того, фактор замощения рельсовой колеи отражается на конструкции верхнего строения и с своей стороны изменяет условия его работы.

Таким образом, в конечном итоге, специальные условия работы верхнего строения трамваев представляются в следующем виде:

Действие подвижного состава. Статическая и динамическая нагрузки сравнительно невелики: нагрузка на ось не превосходит 9 тонн, скорость движения не свыше 30 километров в час. Конструкция двигателя с зубчатой передачей уменьшает боковую качку моторного вагона, и поэтому горизонтальные усилия действующие на рельсы незначительны.

Небольшой состав поездов, — один моторный и один прицепной вагон — увеличивает относительное количество движущих осей и, в связи с частыми торможениями, влечет за собой увеличение износов головок рельсов от стирания.

Действие экипажной езды. Экипажная езда по замощенным рельсовым путям, особенно грузовых автомобилей, с одной стороны, вызывает дополнительный износ головок рельсов, с другой — действует разрушающе на мостовую и через нее на основание путей, вызывая общее расстройство верхнего строения.

Кроме того, конструкция пути во всех своих частях, доступных непосредственному действию экипажной езды, должна удовлетворять условиям плавного и безопасного движения.

Влияние замощения. Осуществление прочной устойчивой мостовой требует соответственного основания, и потому поперечные про-

филя рельсов и типы их укладки должны обеспечивать возможность этого устройства.

Замощение рельсовой колеи влечет за собой дополнительные работы по перемощению при каждой работе по ремонту пути, отсюда вытекает необходимость применения мощных типов верхнего строения с целью обеспечить наибольшую долговечность их службы при наименьшем количестве ремонтных работ. Наконец, замощение рельсовой колеи, создавая условия благоприятные для экипажной езды, с другой стороны, препятствует свободному проходу подвижного состава в местах примыкания мостовой к головкам рельсов со стороны колеи. Это вызывает необходимость создания желоба вдоль головки для свободного прохода реборд бандажей колесных скатов подвижного состава. Конструкции этих желобов должны отвечать условию плавного безопасного движения, как вагонов трамвая, так и экипажей, автомобилей и тяжелых фур.

Кроме того, замощение колеи создает особые условия для работы рельсов, уменьшая влияние изменения температуры, и, создавая дополнительные трения по боковым поверхностям рельсов, препятствует их продольному перемещению.

Остается отметить влияние замощения на основание пути, аналогичное по своему назначению балластному слою и шпалам в железных дорогах нормального типа.

Очевидно, что тип основания под рельсы должен в то же время удовлетворять и требованиям, предъявляемым к основаниям под мостовые соответственных типов. Кроме того, в тех случаях, когда мостовая водопроницаемая, дождевые воды частично проникают под мостовую, и должны быть приняты особые меры для их отвода от основания.

В перечисленных пунктах исчерпаны главные факторы, влияющие на работу и конструкции верхнего строения пути трамваев.

Что касается пригородных железных дорог, то в местах, где пути замощены, все перечисленные условия остаются в силе. На участках не замощенных, имеющих самостоятельное полотно, выделенное из пределов экипажного движения, для верхнего строения имеют значение лишь факторы зависящие от типа подвижного состава, т.-е. сравнительно меньшая статическая и динамическая нагрузка (нагрузки на ось 11 тонн; скорость движения $60 - 70 \frac{\text{кил.}}{\text{час.}}$), отсутствие значительных горизонтальных усилий, как следствие конструкции двигателя, и значение малых поездных единиц (максимум — 2 моторных и 2 прицепных вагона) на износ рельсов.

Установление специальных условий работы пути трамваев имеет весьма важное значение, так как создает определенный критерий для суждения о целесообразности любой конструкции пути.

При проектировке верхнего строения, выборе наиболее подходящей конструкции, выяснении причин неудовлетворительности, указанный критерий поможет найти наилучшее решение и оградит от ошибок.

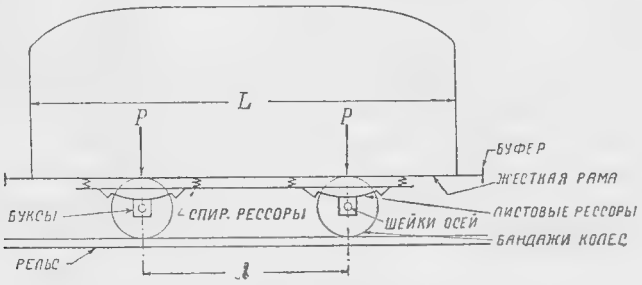
При дальнейшем изложении будем отмечать влияние и значение специальных условий работы и службы пути на типы конструкций и способы производства работ.

ГЛАВА I.

Ходовые части подвижного состава.

Основные элементы.

Конструкции пути и подвижного состава тесно связаны друг с другом, особенно в тех частях, которые непосредственно передают и воспринимают действующие при движении усилия. Части эти должны быть согласованы друг с другом, как в отношении своих форм и размеров, так и в качестве материала. Частями этими со стороны пути являются рельсы



Черт. 3.
Схема передачи давления от вагона к рельсам.

или, точнее, их головки, со стороны подвижного состава — колесные скаты, точнее, — бандажи колес.

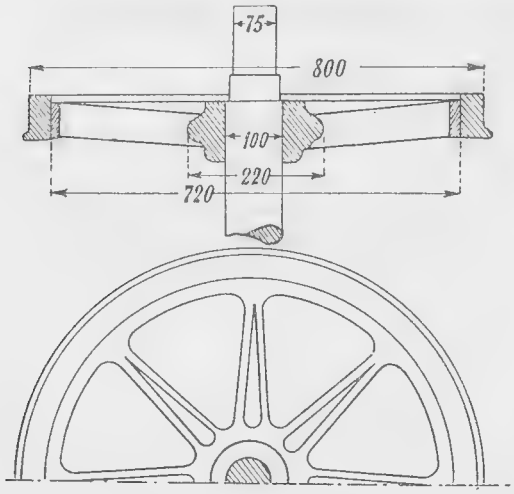
В дальнейшем усилия воспринятые рельсами передаются через шпалы, балласт и полотно на грунт и, с другой стороны, воспринимаются бандажами колес от кузова вагона посредством рессор жесткой рамой, далее тоже посредством рессор буксами и через них шейками осей колесных скатов.

Поскольку инженеру подвижного состава и тяги необходимо знать в основных чертах конструкции пути, постольку инженеру пути необходимо знание конструкции подвижного состава в тех основных частях, которые передают давление кузова и влияют на распределение действующих усилий.

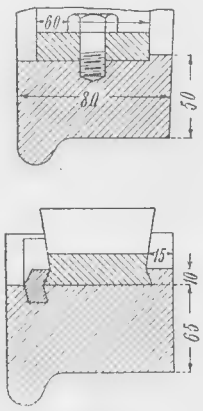
Относя более детальное описание конструкций подвижного состава к специальному курсу, коснемся лишь общих схем передачи давлений и дадим геометрические эпюры основных типов ходовых частей.

Под ходовыми частями вагона подразумевают оси вагона с наглухо насаженными на них колесами, снабженными бандажами с ребордами, прикрепленными тем или иным способом к жесткой раме вагона.

Схема передачи давлений представлена на чертеже 3. Назначение рессор смягчить удары при движении вагона во избежание неприятных толчков, износа и расстройства как пути, так и подвижного состава. В частности, назначение рессор между жесткой рамой и буксами — предохранить от



Черт. 4.
Колесо трамвайного вагона.

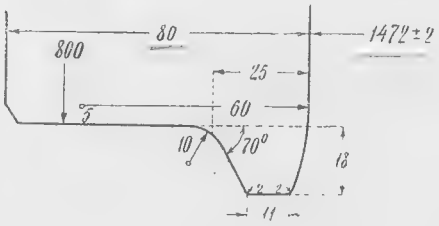


Черт. 5.
Способы укрепления бандажа на ободе.

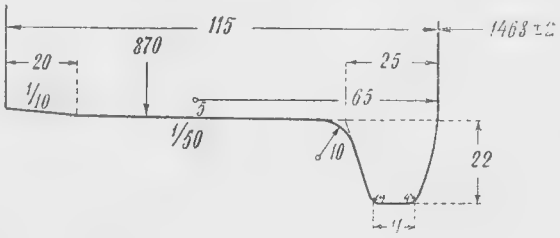
сотрясений моторы, укрепленные в жесткой раме и передающие вращение осям посредством зубчатых колес. Вес кузова и рамы распределяется на оси нагрузкой P; кроме этих усилий при движении вагона на прямых участках пути влияние динамической нагрузки выражается в вертикальных и горизонтальных усилиях, как результате продольной и боковой качки вагона. Вращение движущих колес в силу сцепления, а равно и скольжение всех тормозных колес при торможении вызывает стирание бандажей и головок рельсов. На кривых участках — в зависимости от реакций рельс — являются дополнительные боковые усилия, осуществляющие поворот вагона и вызывающие боковой износ головок рельсов и реборд бандажей.

Колесный скат состоит из оси с шейками и наглухо насаженными на нее колесами. Колеса имеют кованную или литую втулку — ступицу со спицами и ободом, который обтянут бандажем, имеющим реборды (см. черт. 4).

Диаметр колес трамвайных вагонов $d = 750 - 850$ мм., в среднем $d = 800$ мм. Увеличение диаметра d, поднимая площадки, затрудняло бы посадку пассажиров и потребовало бы устройства специальных платформ (рефюжи), которые не всегда возможно расположить на улицах. Бандаж колес надевается на обод в горячем состоянии и кроме того скрепляется с ним болтами или пружинными кольцами (черт. 5). Бандаж колес непосредственно соприкасается с головкой рельса, и его форма, размеры и качество материала должны быть точно согласованы с таковыми головки рельса в целях создать наиболее плавное, безопасное, с наименьшим трением, а, следовательно, и с наименьшими износами, движение



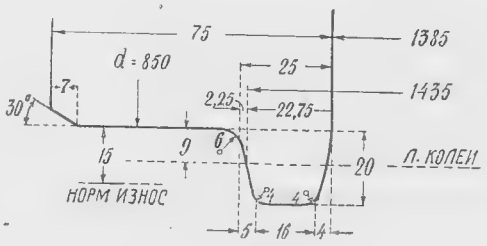
Черт. 6.
Бандаж колес Ленингр. трамвая.



Черт. 7.
Бандаж колес Ораниенб. эл. ж. д.
(по проекту 1913 г.).

подвижного состава. Имеется большое разнообразие форм и размеров бандажей, повидимому, ничем не оправдываемое и являющееся лишь результатом отсутствия согласования.

В Европе и Америке бандажи приведены к нескольким основным типам, которые приняты как нормальные и применяются в зависимости от скорости движения и общего типа данного трамвая или пригородной жел. дор. В России пока еще нормальных типов нет, но, как первоначальный образец типовых, можно привести бандаж Ленинградского трамвая и Ораниенбаумской электрической жел. дор. На черт. 6 представлен бандаж Ленинградского трамвая и на черт. 7—бандаж Ораниенбаумской эл. ж. д. На черт. 8 представлен профиль нормального Германского бандажа.



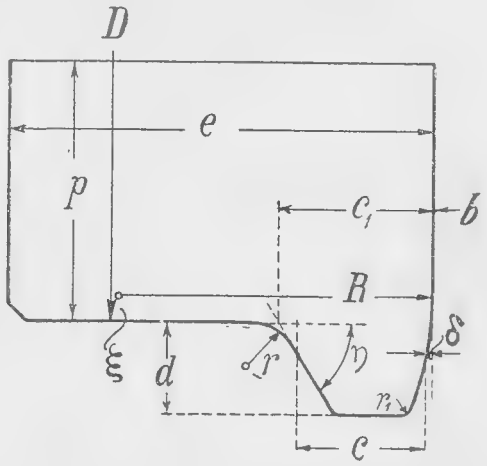
Черт. 8.
Бандаж колес ваг. Германск. трамвая (норм.)

Приведенные бандажи имеют трапецоидальную форму реборды, со срезанной горизонтально нижней частью. Форма эта несомненно имеет преимущества, как уменьшающая износ реборды при проходе по крестовинам и глухим стрелкам, где во избежание ударов колесо катится

не бандажем по головке рельса, а ребордой по плоскости повышенного желоба.

Все размеры бандажа имеют весьма важное значение, и соотношения их с аналогичными размерами головки рельс мы рассмотрим впоследствии, в главе о рельсах.

Здесь же отметим основные размеры, определяющие форму поперечного сечения бандажа (черт. 9).

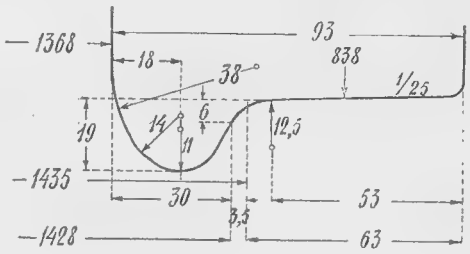


Черт. 9.
Элементы поперечн. сечения бандажа.

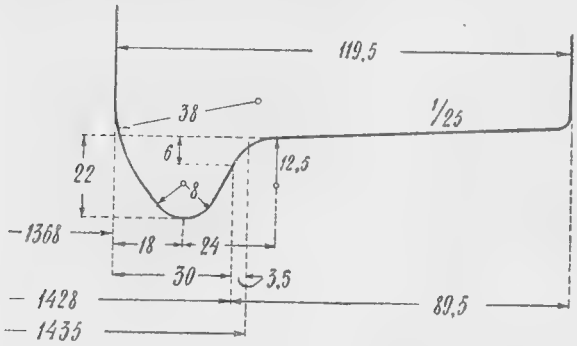
Ширина бандажа	e	для Петрогр.	трамвая	—	80	мм.
„ реборды	c_1	„ „	„	—	25	„
Высота „	d	„ „	„	—	18	„
Диаметр колеса	D	„ „	„	—	800	„
Толщина бандажа	p	„ „	„	—	65	„
Угол наклона	η	„ „	„	—	70°	„
Радиус	R	„ „	„	—	60	„
Ордината центра	ξ	„ „	„	—	5	„
Радиус выкружки	r	„ „	„	—	10	„
„ „	r_1	„ „	„	—	2	„
Расчетная ширина реборды . .	c	„ „	„	—	22	„
Конструктивный размер	δ	„ „	„	—	1,5	„
Ширина насадки	b	„ „	„	—	1472	„

Бандаж Ораниенбаумской ж. д. по общему очертанию сходен с вышеприведенным, что отчасти явилось следствием требования пропуска ваго-

нов этой дороги по путям Ленинградского трамвая; разница в размерах имеется лишь в ширине бандажа, $e = 115$ мм., и высоте реборды, $d = 22$ мм. Это увеличение размеров против аналогичных размеров бандажа трамвая является результатом больших скоростей движения. Скорость Ленинградского трамвая $v = 30 \frac{\text{клм.}}{\text{час.}}$, Ораниенбаумской ж. д.—$v = 60 \frac{\text{клм.}}{\text{час.}}$. Кроме вышеуказанных размеров данные бандажи характеризуются отсутствием коничности; бандаж цилиндрический, что часто встречается в трамваях. Конические бандажи, $i = 1/_{25}$, употребляются в Англии и Америке. На черт. 10 и 11 представлены поперечные сечения нормальных бандажей для трамваев и пригородных железных дорог в Америке. Приведенные сечения бандажей отличаются, главным образом, большей шириной бандажа и реборды и коничностью бандажа, $i = 1/_{25}$. Большая ширина реборды весьма полезна, так как увеличивает срок службы бандажа, но осуществима лишь для американских профилей рельс, имеющих, как увидим дальше, большую ширину желоба. Американская реборда не имеет трапецоидальной формы, но очерчена в нижней части по дуге круга. Очертание это до сего времени удержалось во многих трамваях России и Европы. Здесь уместно сказать о понятии введенном американцами, „ширине колесной колеи“, измеряемой на горизонтали ниже головки рельса на 6 мм. между крайними наружными точками очертания реборды.



Черт. 10.



Черт. 11.

Нормальные бандажи для трамваев и пригородных ж. д. в Америке (черт. 10 и 11).

Ширина эта равняется ширине насадки b + двойная ширина реборды $2c + 2\delta$. Разница между рельсовой и колесной колеей дает игру S. В данном случае: ширина насадки $b = 1368$ мм. Ширина реборды $c + \delta = 30$ мм., ширина колеи $a = 1435$ мм.

Следовательно, ширина колесной колеи $a_1 = b + (2c + 2\delta) = 1368 + 2 \times 30 = 1428$ мм. Игра $S = 1435 - 1428 = 7$ мм.

Для Ленинградского трамвая ширина насадки $b = 1472$ мм. Ширина реборды $c + \delta = 23{,}5$ мм. Ширина колесной колеи $a_1 = 1472 + 2 \times 23{,}5 = 1519$. Игра $S = a - a_1 = 1524 - 1519 = 5$ мм.

№№ по порядку	НАИМЕНОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ	Скорости клм./час	Высота реборды дюймы	мм.
1	Cleveland & South-Western Tr. Co	80,5	11/16	17.53
2	Lake Shore Electric Ry	96,5	7/8	22.23
3	Eastern Ohio Tr. Co	64,5	3/4	19.05
4	Toledo & Indiana Ry	88,5	3/4	19.05
5	Toledo & Western Ry	64,5	3/4	19.05
6	Toledo Pt. Clinton & Lakeside Ry	80,5	7/8	22.23
7	Stark Electric Ry	80,5	7/8	22.23
8	Canton — Arkon Ry	72,5	1	25.40
9	Western Ohio Ry	96,5	15/16	23.62
10	Ft. Wayne, Van Wert & Lima Tr. Co	99,7	7/8	22.23
11	Dayton & Troy Electric Ry	96,5	7/8	22.23
12	Dayton, Covington & Piqua Tr. Co	72,5	3/4	19.05
13	Scioto Valley Tr. Co	96,5	11/16	17.53
14	Cincinnati & Columbus Tr. Co	88,5	11/16	17.53
15	Cincinnati, Milford & Loveland Tr. Co	72,5	1	25.40
16	Interurban Ry 5 Terminal Co, Cincinnati	64,5	11/16	17.53
17	Cincinnati, Georgetown & Portsmouth	72,5	1—1/4	31.75
18	Indiana Union Tr. Co	112,0	7/8	22.23
19	Indianapolis & Northwestern Tr. Co	104,5	7/8	22.23
20	Indianapolis & Cincinnati Tr. Co	80,5	7/8	22.23
21	Indianapolis, Columbus & Southern Tr. Co	72,5	13/16	20.57
22	Terre Haute Tr. & Light Co	83,8	13/16	20.57
23	Kokomo, Marion & Western Tr. Co	80,5	1—1/8	28.58
24	Et. Wayne & Wabash Valley Tr. Co	122,0	7/8	22.23
25	Rapid Ry System	80,5	3/4	19.05
26	Detroit, Ipsilanti, Ann Arbor & Jackson Ry	91,7	7/8	22.23

Ширина бандажа колеблется в пределах $3^1/_4'' - 3^1/_2'' = 82.55 - 88.90$ мм.

Из приведенных нормальных профилей бандажей видим следующие колебания в основных размерах.

Ширина бандажа *e* колеблется от 80 до 93 мм. для трамвая и доходит до 119,5 мм. для пригородных железных дорог.

Ширина реборды колеблется от 22 до 30 мм.; высота реборды *d* от 16 до 22 мм.

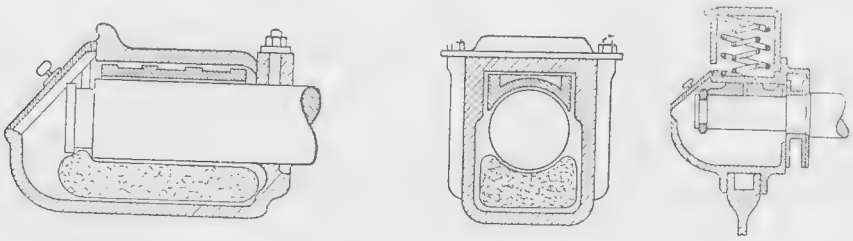
Как увидим дальше, размеры эти ограничены пределами, зависящими от размеров желобов рельсов.

Необходимо отметить, что высота реборды зависит от скорости движения, и зависимость эта ясно видна из вышеприведенной таблицы (см. стр. 12), составленной по опытным данным Американских жел. дор.

Попутно полезно отметить, что материал бандажей стремятся доводить до большой твердости, для чего применяют хромистую и никкелевую сталь, с целью уменьшить износ и увеличить срок службы бандажей. Чрезмерное увеличение твердости будет в ущерб службе рельсов, и, так как смена рельсов по условиям прокладки их в пределах улиц затруднительна и дорога, то в целях рациональной эксплоатации трамвая в его целом не следует употреблять сталь для бандажей большей твердости, чем сталь рельсов.

Конструкция укрепления осей.

На шейках осей помещаются буксовые коробки, которые, в отличие от букс железнодорожных вагонов, где букса состоит из отдельных нижней



Черт. 12. Буксы.

и верхней частей, соединенных болтами, представляют собою цельную отлитую коробку с отверстием сзади для вставки оси и с откидной крышкой впереди для осмотра и добавления смазки (см. черт. 12).

Буксовая коробка лежит не прямо на шейке, а на сменяемом подшипнике из бронзы или из ковкого чугуна, залитого баббитом. В нижней части буксы имеется обыкновенно резервуар для масла, в которое погружены концы смазывающей подушки, а эта подушка или щетка прижимается иногда к низу шейки пружинами.

Как бы ни были укреплены оси к кузову вагона, расстояние между осями должно быть в определенном соотношении с длиной кузова вагона

во избежание продольной качки кузова при движении. Чем больше скорость движения, тем отношение, $\frac{\text{длина базы } l}{\text{длина кузова } L}$, должно быть больше.

Для трамваев, при скоростях движения $v = 30 \frac{\text{клм.}}{\text{час.}}$, это отношение $\frac{l}{L} \geqq 1/3$. Для пригородных железных дорог, при скоростях движения $v = 70 \frac{\text{клм.}}{\text{час.}}$, $\frac{l}{L} \geqq 3/5$.

Для плавности и безопасности движения на прямых участках пути оси должны быть взаимно параллельны и перпендикулярны продольной оси вагона, — а, следовательно, и продольной оси пути.

Этому требованию лучше всего удовлетворяют, так называемые, глухие оси, т.-е. наглухо закрепленные в определенном положении к нижней жесткой раме кузова вагона. С другой стороны, в силу специального характера трассы, имеющей большое количество кривых малых радиусов, для свободного прохода по ним расстояние между осями, т. е. величина базы, должно удовлетворять известному соотношению. Соотношение это по опытным данным можно выразить в следующей таблице:

Длина базы . . l .	1,55 м.	1,6 м.	1,8 м.	2,0 м.
Радиус кривой . R .	12,5 „	13,0 „	15,0 „	18,0 „
Отношение . . . $\frac{l}{R}$.	1/8	1/8	1/9	1/9

Базы $l = 1{,}55$ м. и 1,6 м. выходят из употребления, так что наименьшие жесткие базы имеют $l = 1{,}8 - 2{,}0$ м., и отношение $\frac{l}{R}$ можно принять равным 1/9. Обычно радиус $R = 15{,}00$ м. является средним минимальным радиусом кривых большинства трамваев, тогда, удовлетворяя условиям $\frac{l}{L} = 1/3$ и $\frac{l}{R} \leqq 1/9$ при $R = 15{,}00$ м., мы получим длину кузова вагона $L = 6{,}0$ м. Длина эта не удовлетворяет потребностям интенсивного движения; для столичных трамваев длина кузова $L = 10{,}0$ м., для второстепенных $L = 8{,}0$ м. Отсюда получим, что для малых трамваев, при скоростях движения $v = 20 \frac{\text{клм.}}{\text{час.}}$, можно, уменьшая отношение $\frac{l}{L}$ до 1/4, применить вагоны длиной L от 7 до 8 м. при базе $l = 2{,}0$ м. и для столичных трамваев применить базы длиной $l = 3{,}3$ м., что по условиям прохода по кривым возможно лишь в случае применения особых конструкций, допускающих поворот осей и их радиальную установку на кривых.

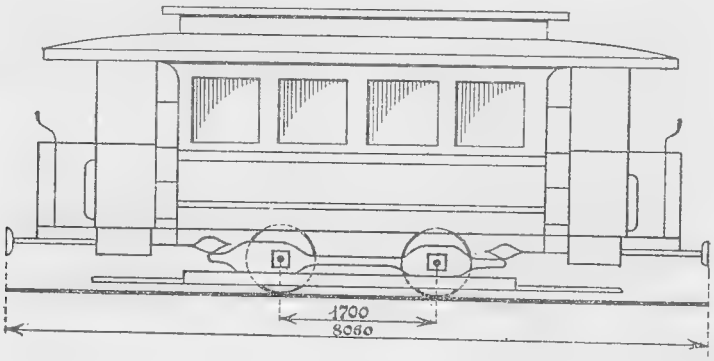
Необходимо добавить, что по условиям геометрического вписывания в кривую данного радиуса четырехугольника, образуемого четырьмя коле-

сами ходовых частей подвижного состава, и учитывая реакцию рельсов кривой на переднюю ось, задняя ось стремится стать радиально.

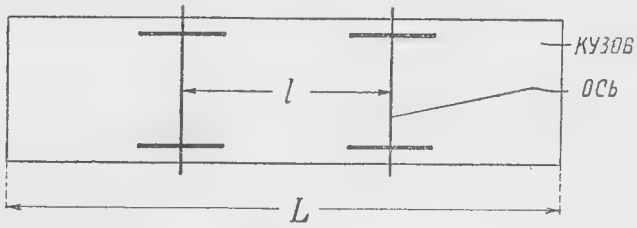
Таким образом конструкции ходовых частей должны удовлетворять следующим требованиям: 1) На прямых участках оси без виляния должны удерживаться в положении взаимно параллельном и перпендикулярном продольной оси вагона. 2) На кривых участках оси без больших сопротивлений должны иметь возможность повернуться в близкое к радиальному положение, при чем необходимо создать условия для поворота передней оси. 3) По выходе из кривой оси должны стать в первоначальное, соответствующее прямой, положение. Условиям этим в различной мере удовлетворяют принятые конструкции ходовых частей подвижного состава, причем, не вдаваясь в детали, мы дадим лишь геометрические эпюры разных типов.

Глухие оси.

Как уже было указано, оси наглухо закреплены и не имеют никаких перемещений относительно кузова вагона (см. черт. 13). Схему будем изображать таким образом (см. черт. 14). При соблюдении условия, что



Черт. 13.
Наглухо закрепленные оси трамвайного вагона г. Базеля.



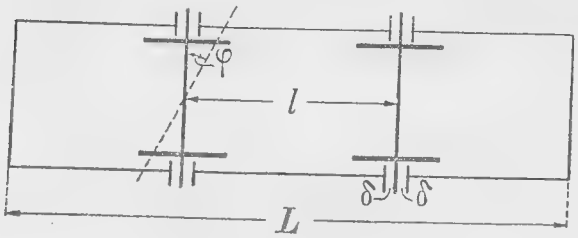
Черт. 14. Схема глухих осей.

$\frac{l}{L} = 1/3$, они дают плавный проход по прямым участкам без боковых виляний. На кривых, при правильном расчете ширины желоба и колеи, вагон проходит без значительных трений при радиусе $R = 15{,}00$ м. и глухой базе $l < 2{,}3$ м.

Употребляются глухие оси для небольших трамваев при длине вагонов $L = 8{,}00$ м. и скоростях движения $v \leqq 20 \frac{\text{клм.}}{\text{час.}}$

Свободные оси.

Оси могут перемещаться в продольном относительно кузова направлении благодаря тому, что буксы имеют игру в направляющих. Перемещение осуществляется в каждую сторону на величину δ, вследствие чего каждая ось может повернуться на угол φ. Угол поворота $\varphi = \frac{360^\circ . \delta}{\pi . b}$, где b — ширина колесной колеи, δ — боковое перемещение буксы, считая от среднего положения (см. черт. 15).

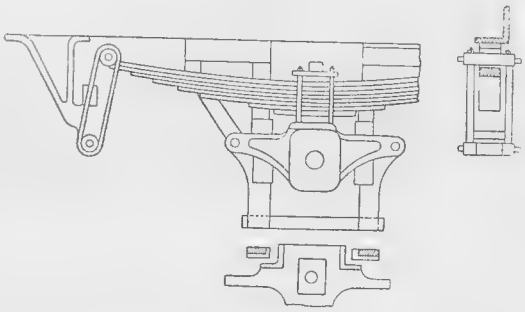


Черт. 15.
Схема свободных осей.

Конструкция укрепления буксы в направляющих представлена на черт. 16. Конструкция эта применена в Вене, Риме, Кельне, Будапеште.

Боковая игра букс по 10 мм., $L = 9{,}95$ м.; $l = 3{,}5$ мм., $\frac{l}{L} = 1/2{,}8 > 1/3$. Благодаря продольному относительно вагона перемещению ось поворачивается на угол $\frac{360^\circ . 10}{\pi . 1428} = 47{,}5$ мин.

Благодаря поперечному относительно вагона перемещению осей вагон продвигается по направлению движения, и задняя ось приближается к радиальному положению, как то указано на черт. 17.



Черт. 16.
Свободные оси трамвайного вагона г. Вены.

Из чертежа с достаточной точностью имеем:

I) Положение вагона при осях без поперечной игры:

$$x^2 = 2Rf_2$$

$$(l - x)^2 = 2Rf_1$$

$$f_1 - f_2 = a - a_1, \text{ откуда } x = \frac{l}{2} - \frac{R}{l}(a - a_1).$$

II) Положение вагона при осях с поперечной игрой „t":

$$x^2_1 = 2Rf_4$$

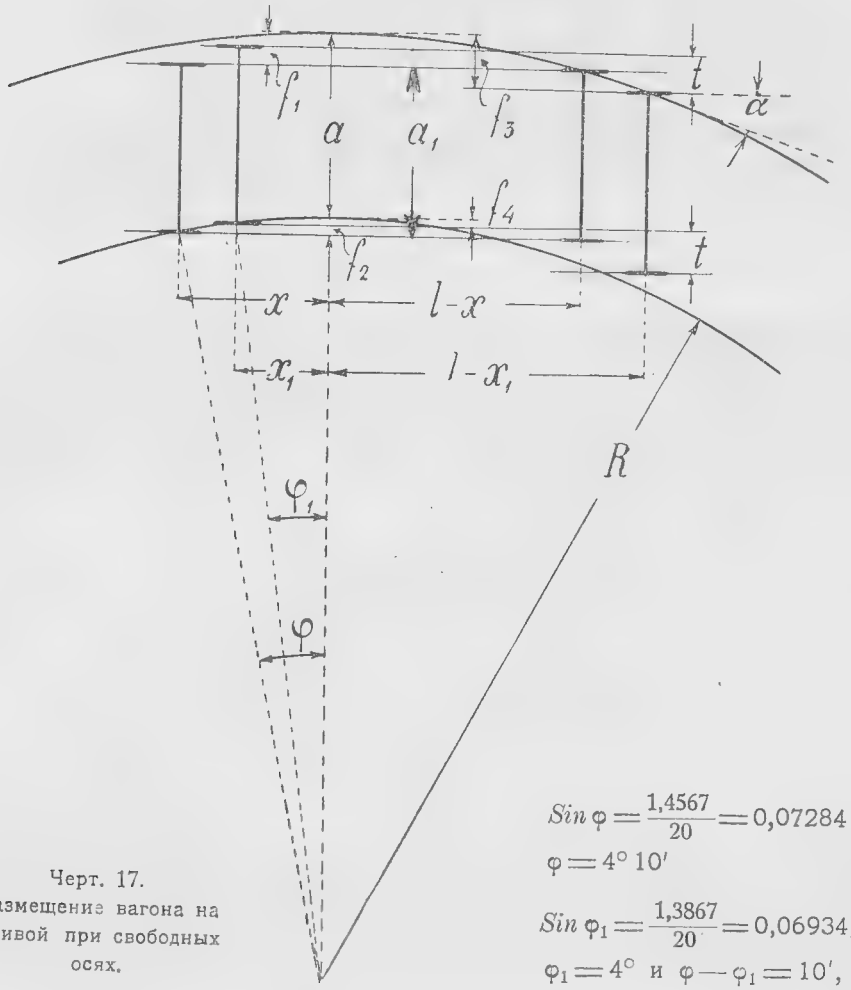
$$(l - x_1)^2 = 2Rf_3$$

$$f_3 - f_4 = a - a_1 + t, \text{ откуда } x_1 = \frac{l}{2} - \frac{R}{l}(a - a_1 + t).$$

Для примера возьмем: $R = 20{,}0$ м., $l = 3{,}0$ м.; $a - a_1 = S = 0{,}007$ м. и $t = 0{,}01$ м.

Тогда: $x = 1{,}50 - \frac{20{,}0}{3{,}0} \cdot 0{,}007 = 1{,}4567$; $l - x = 1{,}5433$

$x_1 = 1{,}50 - \frac{20{,}0}{3{,}0} \cdot 0{,}017 = 1{,}3867$; $l - x_1 = 1{,}6133$



$Sin\,\varphi = \frac{1{,}4567}{20} = 0{,}07284$;

$\varphi = 4^\circ\,10'$

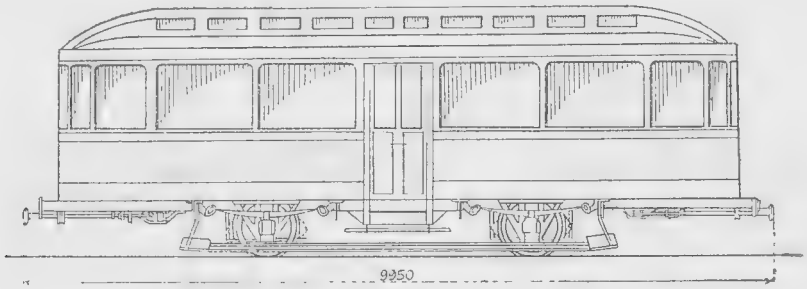
$Sin\,\varphi_1 = \frac{1{,}3867}{20} = 0{,}06934$;

$\varphi_1 = 4^\circ$ и $\varphi - \varphi_1 = 10'$,

Черт. 17.
Размещение вагона на кривой при свободных осях.

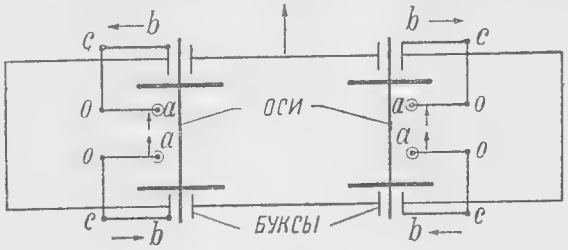
т.-е. благодаря поперечной игре в 10 мм. угол между направлением оси и ее радиальным положением уменьшился на 10′. В действительности наибольшее значение, как для расчета элементов пути в кривых, так и для износа рельсов и бандажей, имеет так называемый угол удара, т.-е. угол между горизонтальной проекцией колеса и касательной в этой точке кривой, по чертежу — угол α. Ясно, что поперечная игра, уменьшая этот угол для задней оси, увеличит его для передней оси, что не принесет пользы при желобчатых рельсах, почему в трамваях и ограничиваются обыкновенно одной продольной игрой.

Возврат осей в первоначальное положение осуществляется подвесками, которые по условиям равновесия стремятся занять среднее положение.



Черт. 18.
Прицепной вагон Кельнского трамвая.

В данной конструкции поворот задней оси не передается на переднюю, и эта последняя остается в первоначальном положении. Кроме того, примененная для моторных вагонов, при торможении она дает удары вследствие перемещения кузова по направлению движения в пределах игры букс. Поперечная игра создает боковое виляние при движении на прямых.



Черт. 19.
Схема свободных осей вагона Нюренбергского завода.

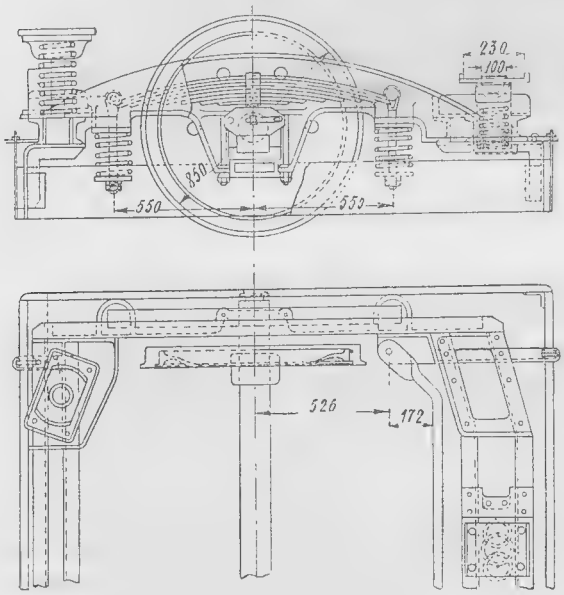
На чертеже № 18 изображен прицепной вагон Кельнского трамвая этой системы. Вариантом этой системы является вагон Нюренбергского завода, в котором поворот осей осуществляется использованием перемещения кузова вагона вследствие центробежной силы. Схема представлена на черт. 19. Буксы имеют свободное перемещение в направляющих и по-

средством тяг bc соединены с коленчатыми рычагами coa, имеющими центр вращения в точках O и в точках C соединенными с тягами bc. В точках „a“ рычаги соединены шарнирно с кузовом. При входе на кривую вагон вследствие центробежной силы отклоняется в наружу кривой по направлению стрелки и влечет за собой концы рычагов „a“, которые, вращаясь около центров O по направлению стрелок, перемещают буксы и ставят обе оси в радиальное положение. Эта система, теоретически удовлетворяющая всем требованиям, была применена и для моторных вагонов.

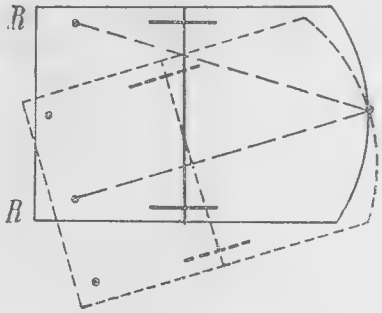
Одноосные тележки.

Каждая ось в данной системе укреплена в самостоятельной раме наглухо и представляет вместе с рамой отдельную тележку, соединенную с жесткой рамой кузова.

Система Беккера (см. черт. 20). Рама тележки опирается на буксы посредством листовых рессор, на концах которых имеются еще спиральные рессоры. Кузов вагона соединен с шаровой пятой, опирающейся на раму тележки посредством спиральной рессоры; эта пята является центром вращения тележки. Кроме того, кузов имеет еще две опоры в виде



Черт. 20.
Тележка Беккера.

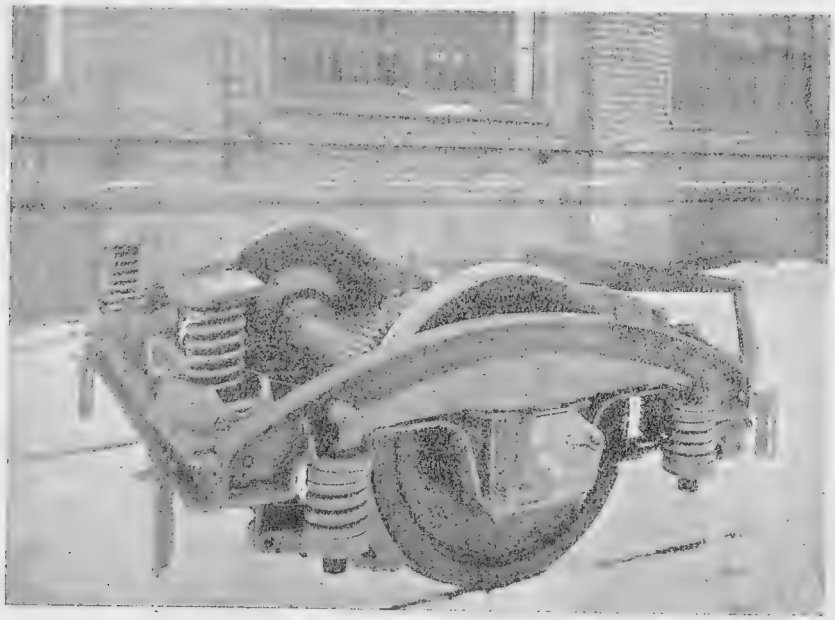


Черт. 21.
Схема тележки Беккера.

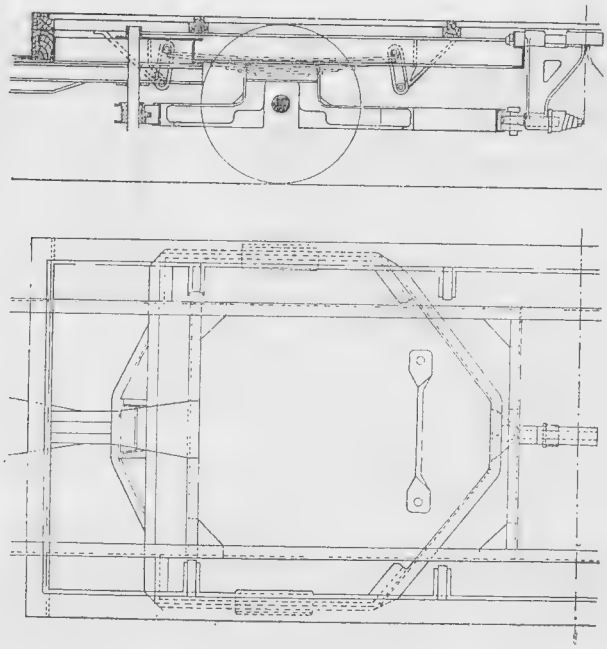
подушек, снабженных спиральными рессорами и скользящих по вращающимся кривым поверхностям, укрепленным в раме кузова.

При движении по прямой подушки имеют вертикальное положение. При входе на кривую, вследствие отклонения кузова, они принимают наклонное положение, тележки поворачиваются около центра O и оси отклоняются на угол около 4°. Расстояния между осями 3,3 м., тележки друг с другом не связаны и каждая из них поворачивается самостоятельно в

зависимости от перемещения кузова. Схема представлена на черт. № 21. Общий вид тележки иллюстрируется фотографией № 22.



Фиг. 22. Общий вид тележки Беккера.

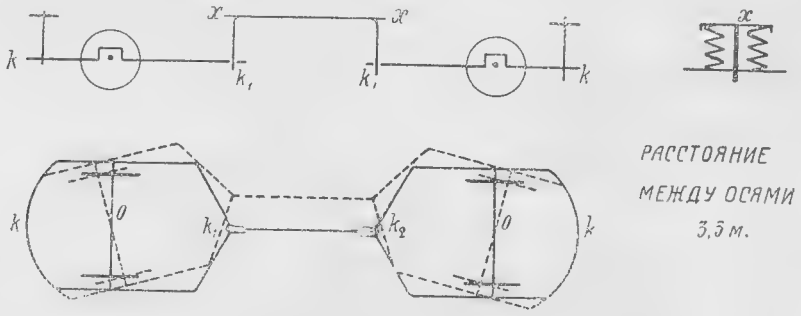


Черт. 23. Тележка Нюренбергского типа.

Тележка Нюренбергского типа. Тележка представлена на черт. № 23. Рама тележки соединена с рамой кузова посредством шкворня K и ползуна. Кроме того рама кузова опирается на две подушки A. Теоретический центр вращения тележки совпадает с центром оси O. В точке K_1, которая перемещается при вращении тележки на ту же величину, что и ползун K, тележка связана по-

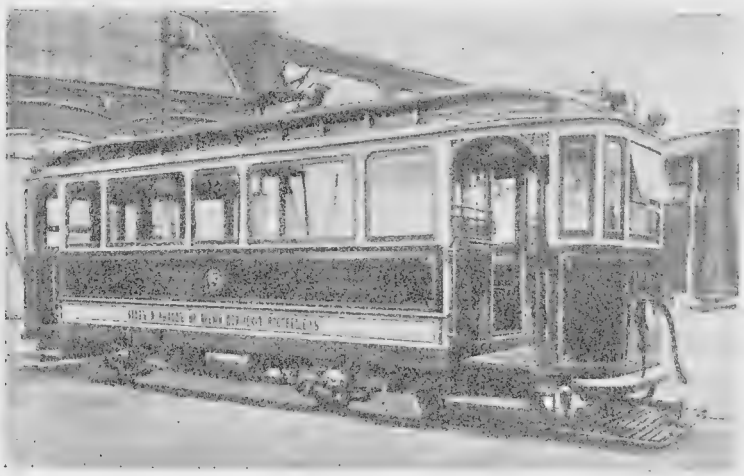
средством штанги с другой тележкой. Штанга вращается около оси XX.

При вращении задней тележки, по условиям вписывания в кривую, точка K_1 перемещается по направлению стрелки, отклоняя штангу вращением ее около оси XX. В зависимости от этого перемещается точка K_2



Черт. 24.
Схема перемещения осей тележек Нюренбергского завода.

передней тележки, поворачивая ее около теоретического центра O. Возврат тележки в первоначальное положение происходит вследствие давления спиральных рессор устанавливающих соединительную штангу в среднее положение. Схема представляется в таком виде (черт. № 24).

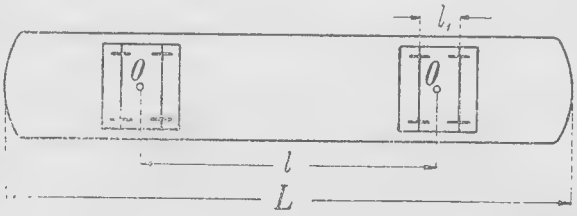


Фиг. 25.
Вагон Ленинградского трамвая с тележкой Нюренбергского типа.

Общий вид моторного вагона с тележкой данного типа (Ленинградский трамвай) представлен на фотографии № 25.

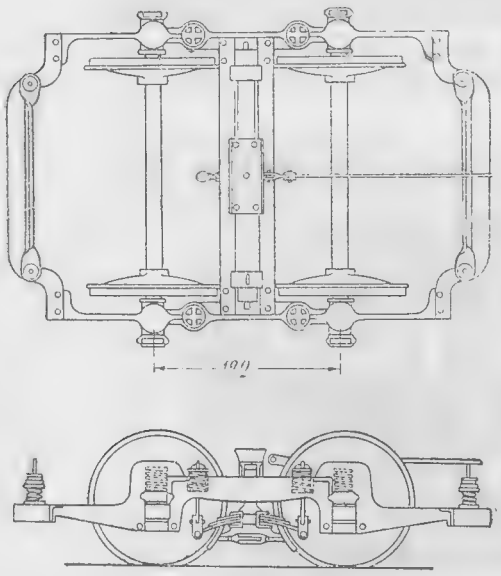
Двухосные тележки.

Тележки этого типа представляют две двухосные с глухими осями тележки, соединенные с нижней рамой кузова вагона шкворнем. Схема представлена на черт. 26. Каждая тележка, представляя собой глухие оси с жесткой базой $l_1 = 1{,}5 - 2{,}1$ м., имеет все преимущества таковых, легко проходит по кривым малого радиуса, поворачиваясь по условиям вписыва-

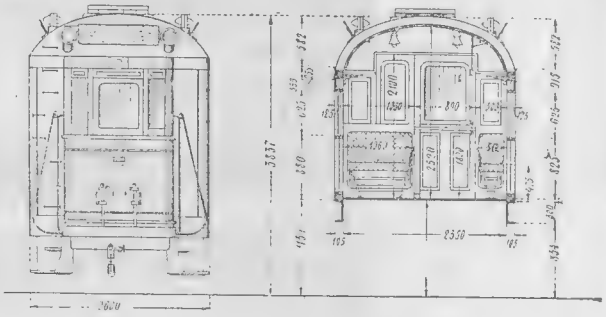


Черт. 26. Схема двухосных тележек.

ния в близкое к радиальному положение. Исходя из отношения $l = {}^1/_9\, R$, получим $R = 9 \times 1{,}5 = 13{,}5$ м. С другой стороны, легко может быть соблюдено и отношение $\frac{l}{L} \geqq {}^1/_3$, так как расстояние между тележками не влияет на их проход по кривой, а может лишь отражаться на вылете кузова вагона, что влечет за собой необходимость уширения междопутия на кривых малых ради-

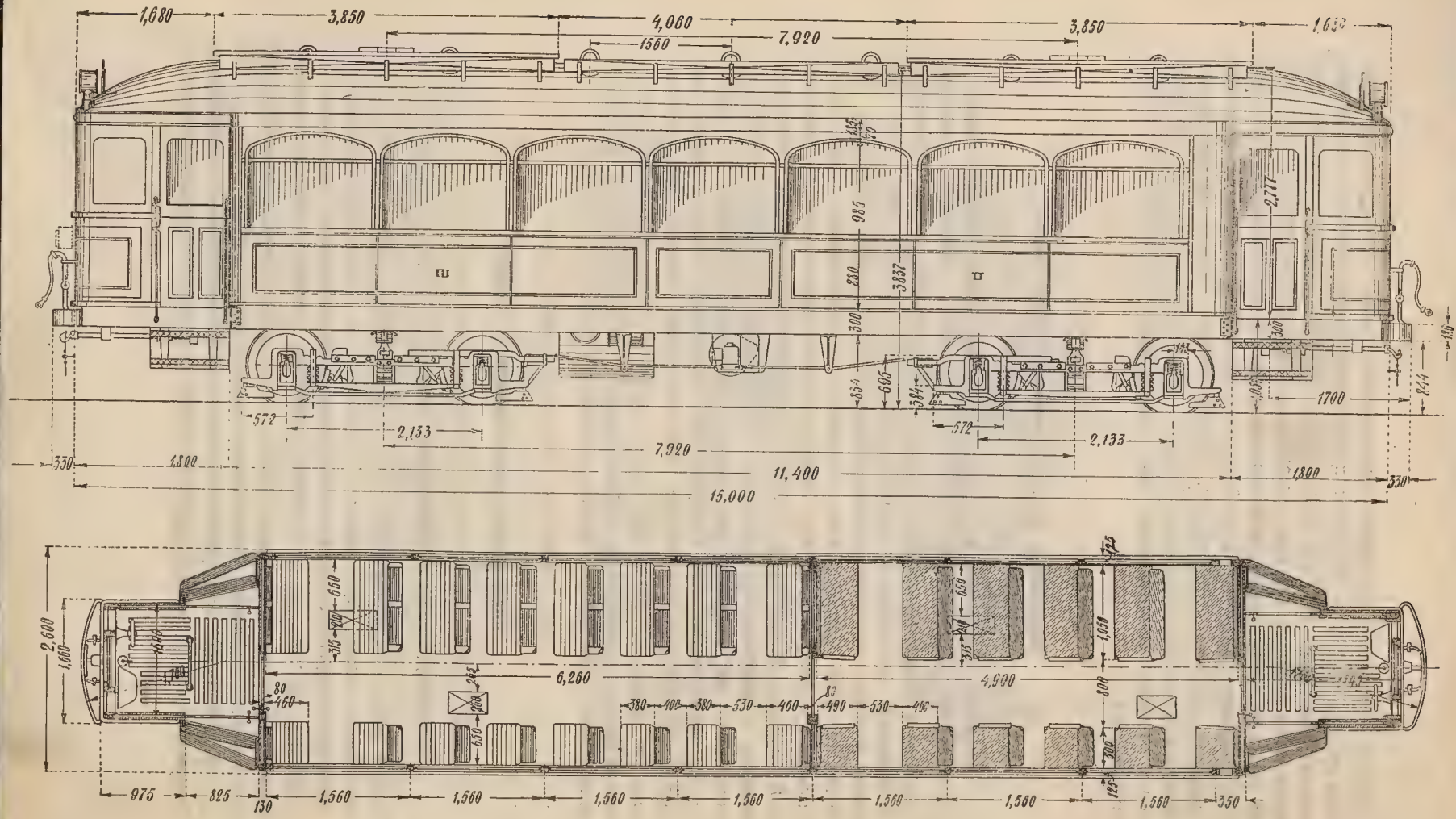


Черт. 27.
Двухосная тележка завода Peckham.



Черт. 28.
Вагон Ораниенбаумской эл. ж. д.
(поперечный разрез).

усов. На чертеже № 27 представлена двухосная тележка завода Peckham. База $l_1 = 1{,}22$ м., кузов вагона опирается на подпятники K и шкворень O и кроме того на катки „nn“, расположенные на поперечной балке тележки. Давление от поперечной балки передается через листовые рессоры спи-



Черт. 28 Вагон Ораниенбаумской электрической жел. дор. по проекту 1913 г. (боковой вид и план).

ральным, подвешенным к раме тележки, и от рамы посредством спиральных рессор на буксы. Тип этот применяется главным образом на пригородных жел. дор., так как для сохранения надлежащего сцепного веса необходимы большие вагоны, которые загромождали бы улицы на кривых. На черт. 28 представлен вагон Ораниенбаумской электрической железной дороги. Длина кузова $L = 15{,}0$ м., ширина 2,6 м., расстояние между центрами тележек $l = 7290$ мм., между осями тележек $l_1 = 2134$ мм. Нагрузка на ось $= 7{,}75$ тонн. Желание использовать преимущества двухосных тележек для городских жел. дор. привело к изобретению особой конструкции.

Двухосные тележки максимальной тяги.

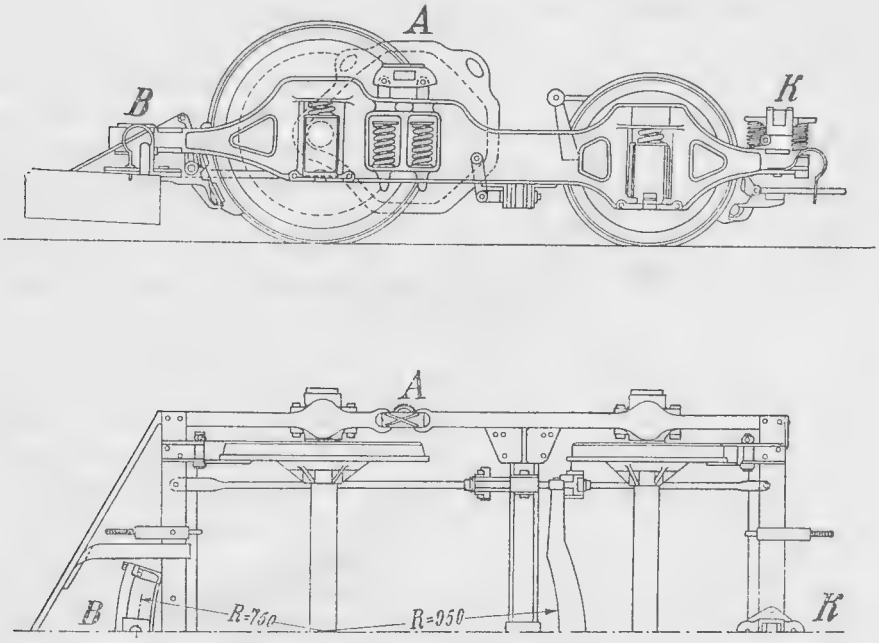
Тележка изображена на черт. 29. Подушки A, на которые опирается кузов, расположены в расстоянии $^1/_4\, l$ от оси с большими колесами. Т. о., ось с большими колесами, соединенная с мотором, несет $^3/_4$ нагрузки на тележку, что дает достаточный сцепной вес. Фактически, в виду веса самой тележки нагрузка эта несколько меньше и имеет от $65^0/_0$ до $75^0/_0$ общей нагрузки тележки. Кузов соединен с рамой тележки шкворнем B, входящим в ползун; т. о., при вращении кузова около точки O, совпадающей с центром большей оси, шкворень вращается около той же точки, перемещаясь в ползуне. Во избежание схода с рельс на кривых малого радиуса мало нагруженной оси имеется кулак „K“, входящий в подушку кузова, такой формы, что на кривой при повороте кузова на кулак передается часть нагрузки от кузова. Это устройство страдает тем недостатком, что разгружая движущую ось на кривых, уменьшает сцепной вес в местах пути с наибольшим сопротивлением, что может повести к буксованию колес, особенно — в местах совпадения кривой с подъемом.

Сравнение приведенных типов.

Исходя из основного требования, чтобы $\frac{l}{R} \geqq {}^1/_9$, $\frac{l}{L} \geqq {}^1/_3$, видно, что глухие оси могут применяться лишь при небольших базах $l = 1{,}5 - 2{,}2$ м. для малых вагонов при длине $L \leqq 7{,}00$ м., т. е. на малых трамваях, при небольших скоростях и малой интенсивности движения. Для трамваев столичных городов, где по условиям движения требуются вагоны большей емкости, при длине кузова $L \geqq 9{,}0$ м. приходится употреблять свободные оси, одноосные тележки или тележки максимальной тяги.

Наконец, для пригородных железных дорог при больших скоростях и большой емкости вагонов, употребляются исключительно двухосные те-

лежки Пульмановского типа. С точки зрения приведенных выше 3-х условий: 1) взаимная параллельность осей при перпендикулярности к продольной оси вагона на прямых, 2) радиальная установка осей на кривых и, как следствие, 3) поворот передней оси, лучшими являются двухосные вагоны с глухими осями для небольших вагонов и двухосные тележки Пульмановского типа для больших вагонов. В этих типах оси устанавливаются в надлежащее положение по условиям вписывания тележек и размещения составляемого



Черт. 29. Двухосная тележка максимальной тяги.

двумя осями прямоугольника в прямой или кривой путь, и движение совершается без боковых виляний и продольных ударов при торможении.

Свободные оси дают небольшой поворот на кривых, а на прямых боковое виляние при движении, кроме того при торможении получаются продольные удары.

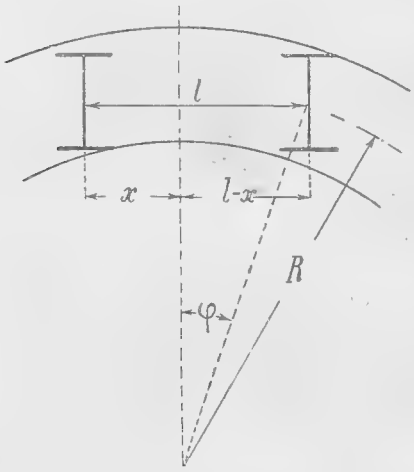
Одноосные тележки теоретически удовлетворяют всем требованиям и позволяют увеличить расстояние между осями до 3,6 метров. Практически они страдают тем недостатком, что весьма трудно добиться правильной работы механизмов, поворачивающих переднюю ось на кривых и возвращающих ее в первоначальное положение на прямых. Регулировка пружин в Нюренбергском типе весьма затруднительна: при сильном натяжении

их оси с трудом выходят из своего параллельного положения при входе на кривую, обратно — при слабом натяжении пружин они не становятся в параллельное положение при входе на прямую. Тип Беккера дает боковое виляние на прямых.

Наконец, двухосные тележки максимальной тяги, теоретически обладая всеми преимуществами двухосных тележек, на практике, как было указано выше, сходят с рельс на кривых вследствие разгрузки малой оси.

Во всяком случае, в больших трамваях наиболее распространены одноосные тележки Беккера и Нюренбергского типа.

При проектировке кривых важно знать, какой угол составляет горизонтальная проекция внутреннего и наружного колеса передней оси с касательной к кривой в точке удара или, что равносильно, — угол между направлением радиуса перпендикулярного к продольной оси и радиусом, проходящим через центр передней оси.



Черт. 30.
Схема движения вагона по кривой.

От величины этого угла зависит износ рельсов, а равно и ширина желоба рельсов для кривых.

Опытные данные дают указание, что величина этого угла не должна быть больше 3°, так как в противном случае практически нельзя осуществить соответственной ширины желоб рельсов и получаются недопустимые износы.

При оценке той или иной конструкции тележки необходимо не только проверить, насколько она удовлетворяет поставленным выше трем основным требованиям, но и проверить на практике величину угла поворота осей.

Повторяем, что для правильного проектирования кривой необходимо знать угол удара φ для передней оси. Определяется он следующим образом. Будем рассматривать обыкновенные рельсы типа „Виньоль“ без контр-рельсов, тогда подвижной состав, стремясь двигаться по касательной, займет положение по черт. 30, т. е. наружное колесо передней оси упирается в наружный рельс и внутреннее колесо задней оси во внутренний рельс; в случае желобчатых рельсов или контр-рельсов — обратно: внутреннее колесо передней оси упирается в контр-рельс внутреннего рельса и наружное колесо задней оси упирается в контр-рельс наружного рельса. Для расчета угла φ безразлично, какая из двух систем имеется в том или ином случае, хотя на трамваях и пригородных железн. дорогах имеет место обычно второй случай.

Положение подвижного состава на кривой, т. е. расстояния x и $l-x$ задней и передней оси от радиуса перпендикулярного продольной оси вагона, зависят от радиуса кривой R, ширины колеи a и величины базы l. Обыкновенно $x=\left(\frac{1}{4}-\frac{1}{3}\right)l$, $(l-x)=\left(\frac{3}{4}-\frac{2}{3}\right)l$. Для расчета угла φ с достаточной степенью точности можно принять $Sin\,\varphi=\frac{l}{2R}$.

Причем, в случае применения тележек, допускающих поворот осей, из полученного расчетом угла φ следует вычесть угол поворота оси, проверив его непосредственным наблюдением при проходе подвижного состава по кривой.

ГЛАВА II.

Рельсы.

При проходе подвижного состава на рельсы действуют вертикальные и горизонтальные усилия. Усилия эти зависят от нагрузки на ось, от скорости движения и от боковых толчков, в свою очередь зависящих от конструкции двигателя. Сравнивая городские и пригородные железные дороги с дорогами нормального типа, мы видим, что нагрузка на ось в трамваях колеблется от 7 до 8 тонн и в пригородных жел. дор.—10—12 тонн, тогда как нормальные железные дороги дают нагрузку до 17—18 тонн; скорости движения на городских дорогах до 30 $\frac{\text{клм.}}{\text{час.}}$, на пригородных — 60—70 $\frac{\text{клм.}}{\text{час.}}$ и на нормальных до 100 $\frac{\text{клм.}}{\text{час.}}$. Наконец, боковые удары, в зависимости от передачи вращения от мотора на ось посредством зубчатых колес, на городских и пригородных железных дорогах электрической тяги значительно менее, чем на паровых железных дорогах нормального типа, где передача движения от поршня цилиндра посредством кривошипа и шатуна создает большую боковую качку. Таким образом, в зависимости от действующих усилий рельсы городских и пригородных железных дорог, на первый взгляд, находятся в более легких условиях и могут обладать меньшим сопротивлением в вертикальном направлении и быть менее устойчивыми в горизонтальном направлении. Исходя из этих соображений, в первоначальных укладках трамваев применяли легкие рельсы небольшой высоты с соотношением высоты рельса H к ширине подошвы B, т. е. $\frac{H}{B} = 1{,}3 - 1{,}4$.

Применение легких типов явилось на первых установках результатом чисто железнодорожного взгляда на работу рельсов городских железных дорог, причем не были учтены специальные условия работы рельсов в зависимости от укладки их в пределах замощенных улиц и специальных условий трамвайного движения. Условия эти, как было уже указано выше, сводятся к следующему.

Укладка рельсов в пределах замощения и уличного движения создает большие затруднения в производстве работ по постройке и ремонту путей и значительно удорожает работу, т. к. каждая незначительная работа по

ремонту требует разборки мостовой и вновь ее замощения. Отсюда, несомненно выгоднее увеличить профиль рельса, а следовательно, и жесткость пути в целях получить наиболее устойчивый путь с наименьшим ремонтом при наибольшем сроке службы рельсов. Создание хорошей мостовой большинства типов требует достаточной толщины слоя основания (около 150—180 мм.), а следовательно, высота рельса, зависящая от толщины слоя мостовой, не может быть менее указанных размеров. Эти обстоятельства диктуют необходимость применения рельсов значительной высоты, превышающей высоту железнодорожных. В зависимости от замощения рельсовой колеи, в целях большей долговечности пути в его целом, применяются бесшпальные основания при непосредственной передаче давления от подошвы рельса на щебень или бетон основания. Отсюда вытекает необходимость иметь широкую подошву рельса, чтобы получить наименьшее давление на единицу площади основания.

Движение на городских железных дорогах, зависящее от специальных условий эксплоатации, представляется в виде большого количества поездов из одного или двух вагонов, при большой частоте движения и частых остановках. Таким образом, мы имеем по сравнению с нормальными железными дорогами значительное преобладание движущих осей: отношение движущих осей к свободным в городских дорогах обычно — $^1/_1$ — $^1/_2$, тогда как на железных дорогах нормального типа — $^1/_{15}$ — $^1/_{40}$. Частое торможение, как следствие частых остановок на станциях и случайных при встрече экипажей и людей, крутые подъемы и уклоны, неизбежное засорение головок и желобов рельсов уличной пылью увеличивают износ головок рельсов, — отсюда — необходимость широких мощных головок в целях уменьшить давление на единицу площади. Причем вертикальный износ головки при интенсивном движении достигает 1 мм. в год, т. е. втрое превосходит таковой на жел. дор.

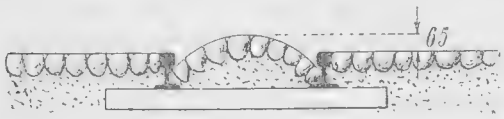
Таким образом, мы видим, что учет специальных условий работы трамвайных рельсов, несмотря на меньшие нагрузки и меньшие горизонтальные удары, приводит к необходимости довести основные размеры профиля трамвайного рельса до размеров даже превышающих таковые железнодорожного.

В пользу усиления профиля говорят и те дополнительные напряжения в рельсе, которые получаются в зависимости от укладки стыков без зазоров (о чем смотри ниже).

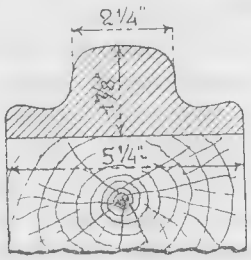
Установив необходимость увеличения основных размеров профиля рельса, посмотрим, как отзываются на общей форме и деталях очертания профиля специальные условия укладки трамвайных рельсов.

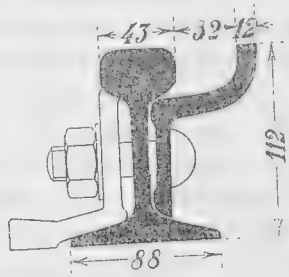
Замощение рельсовой колеи вызывает необходимость создания вдоль головки рельса свободного пространства для помещения реборды бандажа. Ясно, что в целях уменьшения трения и устранения ударов необходимо устранить возможность задевания реборды бандажа о мостовую. В первоначальных

укладках это достигалось понижением мостовой вдоль головки рельса, как указано на черт. 31, но мера эта не достигала цели, так как при каждом расстройстве мостовой, пучины зимой и выбоины летом, образованный вдоль головки рельса желоб нарушался, и получались удары реборд о выступающие части мостовой. Кроме того, при проезде экипажей как вдоль, так и поперек пути, получались толчки и заедания колесных шин о головку рельса. Поэтому появилось стремление создать постоянный желоб вдоль головки рельса, что и выразилось в целом ряде конструкций, начиная с, так наз., Парижского типа (черт. 32), применяемого на конных железных дорогах, и далее в виде приставного контр-рельса (черт. 33), вплоть до желобчатого рельса, получившего почти исключительное применение и известного под названием рельса „Феникс".

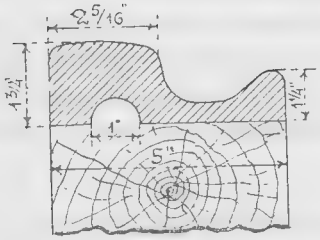


Черт. 31.
Замощение колеи при рельсах Виньоля.





Черт. 33.
Приставной контр-рельс.



Черт. 32.
Коробчатый рельс „Парижского типа".

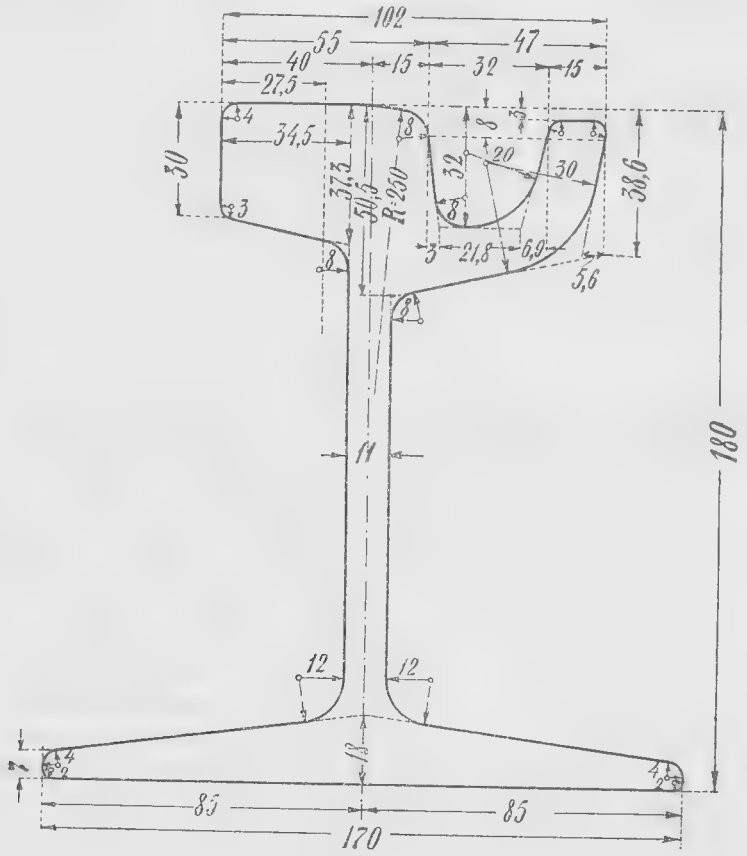
Тип „Виньоль" сохранил применение лишь на окраинах города, на улицах с малым экипажным движением, в частях прилегающих к пригородам и на пригородных железных дорогах, где пути выделены из пределов мостовой.

Кроме того, в зависимости от размера города, состояния мостовых, от средств, которыми располагает предприятие, легкие типы „Виньоль" до сего времени сохранились в первоначальных укладках небольших трамваев. Таким образом, в настоящее время применяются следующие типы:

1) желобчатый рельс „Феникс" большей или меньшей мощности, в зависимости от интенсивности движения и нагрузки на ось; применяется он в крупных и средних трамваях,

2) специальный профиль „Виньоль“, отличающийся от нормальных железнодорожных рельсов большей высотой и большей шириной подошвы: применяется он в тех же трамваях на улицах с малым экипажным движением и на окраинах города, прилегающих к пригородам,

3) легкие профиля „Виньоль“, — в малых предприятиях, для которых укладка рельса „Феникс“ является непосильным расходом,



Черт. 34.
Желобчатый рельс Ленинградского трамвая 2-ой очереди.

4) специальные мощные профиля „Виньоль“, причем желоб образуется укладкой вдоль головки рельса бордюрных камней из тесаного гранита. Тип этот применяется в Америке и на центральных улицах,

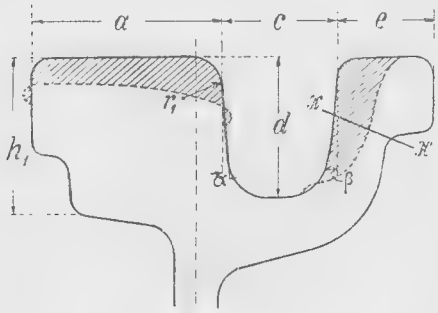
5) нормальный профиль „Виньоль“ легкого типа на пригородных железных дорогах, где пути укладываются вне мостовой улицы на изолированной полосе.

Желобчатый рельс, в своем первоначальном виде, прошел целый ряд изменений пока вылился в современную форму, указанную на чертеже 34 (профиль Ленинградского трамвая 2-й очереди). Лучшим крите-

рием для улучшения профиля и устранения ранее допущенных недостатков может служить наблюдение над износами рельсов при помощи периодических снимков профилографом.

При этом необходимо дать себе ясный отчет в том, что применение желоба влечет за собой целый ряд последствий и усложняет расчет ширины колеи, особенно в кривых частях пути, ограничивает вертикальный допускаемый износ головки рельса, и, вообще говоря, размеры и очертания желоба должны быть точно согласованы с профилем бандажей и реборд, размерами головки рельса, радиусом кривой и проч.

Рассмотрим в общих чертах главные изменения, которым подвергся первоначальный профиль, причем установим, как основной критерий для суждения о совершенстве профиля, что рельс должен выбывать из строя при полном одновременном допускаемом износе всех его работающих на износ частей и удовлетворять условиям прочности при наименьшем весе. Опуская первоначальные типы: Парижский, ступенчатый, с приставным контр-рельсом и другие, проследим развитие формы сечения цельного желобчатого рельса.



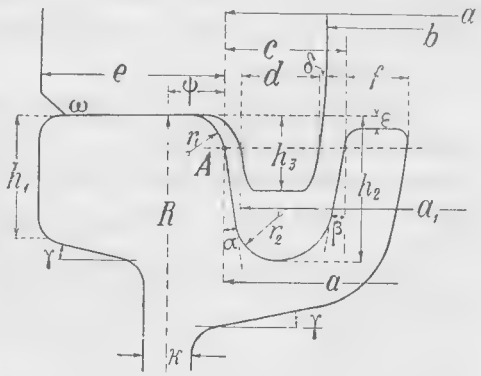
Черт. 35.
Первоначальная форма желобчатого рельса.

В первоначальном своем виде он изображен на черт. 35, форма эта удержалась и доныне в некоторых трамваях: Милан, Варшава и др. Указанный профиль спроектирован как для прямых, так и для кривых участков пути, и с этой целью губке контр-рельса придано утолщение в верхней части в том расчете, что она работает на износ в боковом направлении на кривых. Ширина головки рельса „a“ уменьшается уступом в нижней части с целью экономии материала, имея в виду, что нижняя часть головки на износ не работает и служит лишь поддерживающей частью для верхней рабочей части в виде консоли.

На черт. пунктирной линией показан износ головки и губки. Картина износа показывает нам, что утолщение в верхней части губки не достигает цели, т. к. губка отламывается в сечении XX, и верхняя ее часть не может быть полностью использована на износ. Оставляя пока соображения о работе рельсов на кривых участках, рассмотрим данный профиль при работе исключительно на прямой. В этом случае утолщение губки излишне, так как на прямых губка не работает в боковом направлении. Что же касается уступчатой формы головки с меньшей шириной в нижней части, то форма эта нерациональна, так как уменьшает плоскость соприкосновения накладки с рельсом в стыках, и потому в новейших профилях она не применяется.

Картина износа головки указывает, что несмотря на цилиндрические бандажи износ идет с уклоном к желобу, и посему казалось бы, что форма очертания головки должна ближе подходить к параллельности с этой линией во избежание бесполезного износа у выкружки, соединяющей головку с желобом.

Укажем на соотношения между размерами головки и желоба, которые установились, как результат наблюдений над износами рельсов, а равно — и из условий удовлетворения основному требованию, чтобы рельс выбывал из строя при полном износе рабочих частей. Отметим, что ранее всего размеры головки и желоба и их очертания должны быть согласованы с размерами и очертанием бандажа и реборды. Возьмем для примера последний германский профиль (черт. 36). Условимся, что ширину колеи, ширину желоба и реборд будем измерять в горизонтали, проходящей через точку касания A выкружки радиуса r_1, соединяющей линию очертания верхней части головки с ее боковой гранью со стороны желоба, — с этой гранью. Измерения в одной горизонтали необходимы в виду наклона боковой рабочей грани головки. Установим, что на прямых участках пути направляющими движения служат головки рельсов и губки работать не должны, как во избежание лишних трений, так и во избежание непроизводительных износов. Тогда получим следующую зависимость между шириной колеи a, шириной насадки b, шириной желоба c, шириной реборды d, конструктивным размером δ и игрой колеи S; примем, что допускаемые отступления в ширине колеи и насадки: $a \pm 2$ мм. и $b \pm 2$ мм. Имеем; $a - a_1 = S$, . (I) где a_1 — ширина колесной колеи, т. е. разность между шириной рельсовой и колесной колеи равна игре; игра необходима во избежание излишних трений при зажатии колес между головками рельсов. Ясно, что, имея в виду допуски в ширине насадки и ширине колеи, игра должна быть больше 4 мм. Обычно величиной S задаются, и в городских укладках она принимается от 5 до 7 мм.; больший размер игры не достижим, так как повлечет за собой уширение желоба свыше осуществимых на практике размеров. Указанные размеры, 5 — 7 мм., вполне достаточны, имея в виду сравнительно незначительные скорости и отсутствие коничности бандажей.



Черт. 36.
Нормальн. Германский желобч. рельс и бандаж колеса с ребордой.

Далее имеем: ширина колесной колеи $a_1 = b + 2\delta + 2d$; т. е. $a - b - 2\delta - 2d = S$ . . . . . (II)

Для выполнения требования, чтобы на прямых работали исключительно головки рельсов, возьмем невыгоднейший случай, т. е. узкую насадку $= b - 2$ мм. и широкую колею $= a + 2$ мм., тогда, если скат прижат ребордой к одному рельсу, то между губкой другого рельса и ребордой должен оставаться зазор не менее 1 мм., т. е. $b - 2 + 2\delta + d - (a + 2 - c) \geqq 1$ мм. или $b + 2\delta + d - a + c \geqq 5$ мм., так как $a = b + 2d + 2\delta + S$, то $b + 2\delta + d + c - b - 2d - 2\delta - S \geqq 5$, отсюда получим: $c - d - S > 5$ или $c \geqq d + S + 5$ мм. . . . . (III)

Таким образом, имея определенную реборду и задаваясь игрой, мы определяем ширину желоб c из уравнения (III), далее, зная ширину колеи a, определяем ширину насадки из уравнения (II):

$$b = a - 2\delta - 2d - s.$$

Обратно, имея определенный рельс, можно определить ширину реборды из уравнения (III):

$$d = c - s - 5 \text{ мм.}$$

и далее определить насадку b из уравнения (II).

Таким образом, мы видим, что ширина желоба рельса c тесно связана с размерами частей колесного ската и элементов колеи, т.-е. $c = f(a, s, b, d, \delta)$. В действительности ширина желоба колеблется в пределах от 29 до 35 мм. При чем необходимо отметить, что она должна отвечать условиям безопасности экипажного движения. Желоба большой ширины опасны, так как в них могут застревать шины экипажей, полозья саней, наконец, шипы лошадиных подков. В этом отношении норма, принятая в Англии, $c \leqq 32$ мм., вполне правильна.

Определив ширину желоба, необходимо придать ему соответствующие реборде очертания в целях получения наименьших износов; для этого нужно рассмотреть два крайних положения реборды: в начале укладки рельса и в конце его службы. Обыкновенно задаются величиной полного допускаемого износа по высоте головки рельса „ξ". Величина ξ, с одн. стор., зависит от глубины желоба, при чем $h_2 - \xi \geqq h_3 + 2$ мм., т.-е. чтобы реборда в крайнем своем положении не задевала за дно желоба, с другой стороны, величина допускаемого износа ξ зависит от высоты головки рельса; необходимо, чтобы остающаяся после износа высота головки $h_1 - \xi$ была достаточна для сопротивления отгибу головки от вертикальной нагрузки колеса. Величина эта $h_1 - \xi$ зависит от давления на рельс, ширины головки и расположения шейки рельса относительно головки.

В приведенном германском профиле величина $\xi = 18$ мм.; $h_2 = 40$ мм.; $h_3 = 20$ мм., при чем $h_2 - \xi = 22$ мм. $= h_3 + 2$ мм.; $h_1 = 31$ мм., т.-е. $h_1 - \xi = 13$ мм. и, вообще, h_1 колеблется от 10 до 15 мм. С целью увеличить срок службы рельса стремятся увеличить размер допускаемого износа, что влечет за собой, как мы видели, увеличение глубины желоба h_2 и

высоты головки h_1. Увеличение высоты головки не встречает препятствий, как по условиям прокатки, так и по условиям работы рельса. Увеличение же глубины желоба, напротив, затрудняет прокатку (предел достигнутый в настоящее время — 40 мм.) и, кроме того, требует увеличения ширины желоба, чтобы сохранить его уширяющуюся кверху форму. Форма эта необходима, с одной стороны, по условиям прокатки, с другой — по условиям очистки желоба от грязи и льда. Отношение ширины желоба c к глубине его h_2 колеблется в пределах от $\frac{c}{h_2} = 1$ до $\frac{c}{h_2} = {}^3/_4$.

В последних германских профилях принято отношение 31/40, в последних французских — 29/40 и 35/40, в английских нормальных профилях — 1/1; в русских профилях — 1/1.

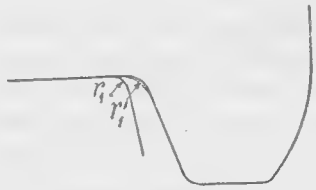
Большая или меньшая открытость желоба обусловливается уровнем техники прокатки и, с другой стороны, возможностью содержать желоб в чистоте во избежание излишних трений. Чем улицы грязнее, чем мостовые менее совершенны и содержатся в меньшей чистоте, чем более климатические условия способствуют образованию грязи и гололеда, тем желоб должен быть сделан более открытым. При глубоких и узких желобах, с отношением $\frac{c}{h_2} = {}^3/_4$, необходимо предвидеть хороший водоотвод из желобов рельсов и частую прочистку желоба. Здесь необходимо отметить, что увеличению глубины желоба при сохранении его открытости, при отношении $\frac{c}{h_2} = 1$, препятствует предельная ширина желоба c, в зависимости от попадания в них шин колес, полозьев саней и шипов лошадиных подков. Ширина желобов колеблется, как было выше указано, от 29 мм. до 35 мм., в последних французских типах. В среднем, она равна 30 — 32 мм. на прямых участках и достигает 41 мм. на кривых.

В зависимости от той или другой открытости желоба меняются углы наклона очерчивающих его граней. В германских профилях очертание симметрично, $\alpha = \beta$ и $tg\alpha = {}^1/_6$; во французских $tg\alpha = tg\beta = {}^1/_{10}$ и для более открытых желобов, с отношением $\frac{c}{h_2} = \frac{35}{40}$, $tg\alpha = {}^1/_{10}$ и $tg\beta = {}^1/_7$; в английских профилях $tg\alpha = {}^1/_8$; $tg\beta = {}^1/_5$

Угол α имеет значение исключительно для облегчения прокатки и очистки, по условиям же прохода подвижного состава с наименьшими трениями угол α должен быть равен нулю; что же касается угла β, то выбор его зависит от очертания реборды, чтобы в случае укладки на кривых больших радиусов. $R \geqq 60$ м., когда укладка специальных рельсов не применяется, создать наилучший контакт между ребордой и губкой в целях правильного наименьшего бокового износа губок и реборд, так как на кривых, после бокового износа головки на 5 мм., будет одновременно с ней работать и губка контр-рельса внутреннего рельса. Наклон этой грани будет наиболее удовлетворять требованиям правильного износа, если линия очертания губки будет касательна к очертанию реборды в точке, лежащей

на горизонтали измерения ширины колеи. В дальнейшем необходимо остановиться на выкружке радиуса r_1, соединяющей головку рельса с ее боковой гранью. Радиус этой выкружки должен быть согласован с очертанием примыкающей выкружки реборды.

В первых нормальных профилях стремились осуществить эту выкружку наименьшим радиусом, но наблюдения над износами показали, что подобное очертание создавало местные износы реборд. Это обстоятельство послужило указанием необходимости увеличить радиус выкружки, причем в большинстве типов (черт. 37) $r_1 = r_1' - 2$ мм., где r_1' — радиус соответствующей выкружки реборды. Это соотношение остается и ныне в новейших профилях Англии и Франции. В Германии, в последнем профиле, $r_1 = r_1' + 4$ мм., т.-е. увеличение радиуса выкружки головки пошло далее и радиус выкружки реборды превзойден. Повидимому в этом нет надобности, и соотношение $r_1 = r_1' - 2$ мм., по наблюдениям над износами рельсов и реборд, было правильно. Остается сказать об очертании желоба в нижней части. В большинстве случаев это очертание осуществлено симметричными выкружками радиуса $r_2 = 10 - 11$ мм., соединенными горизонтальной прямой. В этом отношении некоторую особенность представляет английский профиль, где прямой линии придан уклон в сторону головки и радиусы выкружек уменьшены. Особых преимуществ это видоизменение не представляет, но дает возможность сократить количество материала в нижней части губки благодаря параллельности очертания наружной и внутренней ее грани в нижней части желоба.



Черт. 37.

Соотношение радиусов выкружек головки рельса реборды.

Что касается толщины губки, как в верхней, так и в нижней части, то она принимается от 14 до 18 м., что является достаточным, имея в виду и боковой износ ее на кривых радиусах $R \geq 75'$ м., где не укладываются специальные рельсы для кривых. Кроме того, губка понижается от уровня головки на 3 — 4 мм., в целях уменьшить возвышение ее над головкой рельса после износа головки.

Переходя к очертанию головки, укажем, что в прежних типах она очерчивалась по горизонтальной прямой, причем в английских профилях, в зависимости от применения конических бандажей, головке был придан уклон в 1/21 в сторону желоба. Как было уже отмечено ранее, снимки износов указывают на некоторую коничность износа даже в случае применения цилиндрических бандажей. В целях избежать непроизводительного износа и придать головке форму близкую к той, которую она принимает после износа, головке стали придавать форму цилиндрической поверхности, начиная с середины ее в сторону желоба. Впервые это очертание появилось в нормальных германских профилях и в настоящее время

осуществлено во всех новейших профилях, отличаясь лишь радиусом кривизны, за исключением последнего французского профиля, вернувшегося к очертанию по горизонтальной плоскости. Так, германские профиля имеют $R = 225$ мм., английские — $R = 238$ мм. $= 9''$. Это очертание нужно признать правильным, и наблюдение над износами рельсов 2-ой очереди Ленинградского трамвая, имеющего очертание головки по кривой $R = 255$ мм., вполне подтверждают правильность этого принципа проектировки.

Ширина головки в последних типах колеблется от 51 мм. до 57 мм. и высота головки от 27 до 33 мм. Увеличение ширины головки шло непрерывно, но в новейших профилях уже не наблюдается, что является признаком того, что рациональный предел, в зависимости от условий работы, уже достигнут. Кроме того ширина головки e должна быть согласована с шириной бандажа, чтобы бандаж при крайнем положении ската, когда реборда прижата к головке рельса, не выступал за пределы головки точкой ω во избежание задевания за мостовую, что повлечет за собой удары, создающие беспокойную езду, износ бандажей и добавочное трение, отзывающееся на расходе энергии.

Нижние грани головки и губки контр-рельса очерчены по наклонным плоскостям, в большинстве случаев с уклоном в $^1/_5$, дающим возможность расположить накладки. Шейка рельса толщиной от 10 до 12 мм., преобладающий размер — 11 м.; в некоторых типах имеется утолщение к подошве: американский тип и последний английский имеют 11 мм. у головки и 13 мм. у подошвы. В большинстве случаев это утолщение отсутствует и существенных преимуществ не дает, так как рельс заключенный в мостовую не испытывает значительных косых усилий.

Важно отметить размещение шейки относительно головки и всего сечения рельса. В целях улучшить передачу давления от головки к шейке, ее следовало бы разместить симметрично относительно головки, чем одновременно уменьшилось бы плечо изгибающего головку момента, и можно было бы уменьшить высоту ее после нормального износа $= h - \xi$. С другой стороны, по условиям прокатки, для получения однородного металла требуется размещение шейки симметрично относительно всего сечения рельса. В пользу этого решения говорит и уменьшение металла в нижней части головки, прилегающей к желобу, а равно и увеличение плоскости соприкасания с накладкой со стороны головки. Необходимо отметить еще один довод в пользу более симметричного расположения шейки относительно головки, а именно увеличение допускаемого бокового износа головки. Обстоятельство это имеет значение при работе рельсов на кривых больших радиусах, когда укладка специального профиля для кривых не применяется. В разных профилях вопрос этот решен различно, и размещение шейки можно выразить в виде отношения отрезков на которые ось шейки делит ширину головки e и ширину всего сечения $e + c + f$; отношение

это колеблется от $\frac{\psi}{e-\psi}=11/45$ до $\frac{\psi}{e-\psi}=15/36$ и соответственно для всего сечения — $\frac{e+c+f-(e-\psi)}{e-\psi}=56/101$ до 56/91, причем в последних германских профилях размещение шейки наиболее приближается к симметричности относительно головки, а во французских отступает от нее. В этом отношении профиль 2-ой очереди Ленинграда занимает среднее место: $\frac{\psi}{e-\psi}=15/40$ и, вообще, отношение $\frac{\psi}{e-\psi}=1/3$ до 1/2,5 можно было бы признать правильным. Подошва рельсов, с применением щебеночных и бетонных оснований, по своей ширине приближается к высоте рельса и в нормальных профилях германских и английских отношение $\frac{B}{H}=1$.

В рельсе Ленинградского трамвая 2-ой очереди $\frac{B}{H}=17/18$; французские профиля отступают от этой нормы, и отношение $\frac{B}{H}=5/6$. В новейших германских профилях оно тоже доходит до 5/6. Относительное уменьшение ширины подошвы в последних типах объясняется новым направлением в проектировке основания, а именно, в передаче давлений от подошвы рельса на основании посредством шпал или лежней. В этих случаях увеличение ширины подошвы теряет свое значение.

Высота рельса, как уже было указано выше, главным образом зависит от толщины слоя замощения. Толщина эта для совершенных типов мостовых около 160 — 180 мм., кроме того имеет значение тип соединения рельса с бетонным основанием.

В случае, если подошва рельса втоплена в бетон основания, то полная высота рельса составится, как сумма из толщины слоя мостовой и глубины заделки. Глубина заделки при условии прочности не должна быть менее 100 мм.; применяя при этом брусковую мостовую из гранита или дерева, высотой около 150 мм., мы получили бы высоту рельса около 250 мм., что слишком повысило бы стоимость рельса и было бы не экономично. Поэтому втопление подошвы рельса в бетон основания применяется лишь в соединении с мостовыми требующими небольшой толщины слоя, например, асфальтовыми. При новых воззрениях в проектировке оснований вообще заделка оставлена, и этот фактор отпадает.

Установившиеся в настоящее время размеры высоты рельса колеблются от 145 — 180 мм. и только в исключительных случаях превышают эти нормы, как, напр., рельс Вены имеет $H=210$ мм. и Гамбурга — $H=200$ мм. Вообще, наиболее часто встречающийся размер высоты рельса для крупных трамваев $H=180$ мм. и он может быть принят, как норма, отвечающая всем требованиям работы рельса.

В Германии в свое время была предложена эмпирическая формула для определения высоты рельса:

$$H=\sqrt{8{,}75P+m}\ \text{мм.},$$

где:

P — нагрузка на ось в килограммах.

m — коэффициент зависящий от интенсивности движения. При этом

$m_1 = -3.750$ — для слабого движения

$m_2 = -\ 625$ — „ среднего „

$m_3 = +5.000$ — „ сильного „

Принимая нагрузку на ось 8 тонн, получим давление от колеса $P = 4$ тонны и соответственно:

$$H_1 = \sqrt{8{,}75 \times 4.000 - 3.750} = 176 \text{ мм.}$$

$$H_2 = \sqrt{8{,}75 \times 4.000 - 625} = 185 \text{ мм.}$$

$$H_3 = \sqrt{8{,}75 \times 4.000 + 5.000} = 200 \text{ мм.}$$

Судя по опытным данным, вышеприведенная формула дает преувеличенные размеры, и в последних нормальных профилях соответствующие размеры будут следующие:

во Франции $H_1 = 145$ мм., $H_2 = 175$ мм., $H_3 = 180$ мм.

в Германии $H_1 = 160$ мм. $H_2 = H_3 = 180$ мм.

в Англии $H_1 = 165$ мм. $H_2 = H_3 = 178$ мм.

Казалось бы, что германские и английские профиля вполне соответствуют требованиям и на них можно было бы остановиться.

Ширина подошвы B должна быть согласована с высотой рельса H. Профессор Стецевич полагает, что не следует пренебрегать устойчивостью рельса, несмотря на заделку его в мостовую и малые горизонтальные усилия, и считает, что независимо от типа основания следует соблюдать отношение $B/H = 1$ и во всяком случае не менее 0,9. В Германии предложена для ширины подошвы эмпирическая формула, аналогичная расчетной для высоты, в зависимости от интенсивности движения, а именно:

$$B = 0{,}025P + n,$$

где:

$n_1 = 55$ мм. для слабого движения

$n_2 = 67{,}5$ мм. „ среднего „

$n_3 = 80$ мм. „ сильного „

При давлении на колесо $P = 4$ тонны соответственно получим:

$B_1 = 0{,}025 \times 4.000 + 55 = 155$ мм. и $B_1 : H_1 = 0{,}88$

$B_2 = 0{,}025 \times 4.000 + 67{,}5 = 167{,}5$ мм. и $B_2 : H_2 = 0{,}90$

$B_3 = 0{,}025 \times 4.000 + 80 = 180$ мм. и $B_3 : H_3 = 0{,}90$

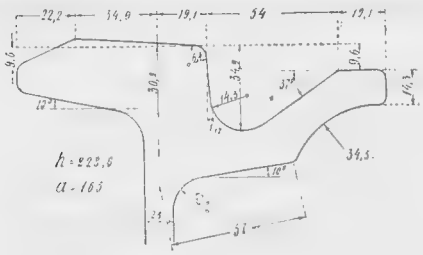
В последних нормальных профилях имеем следующие размеры:

Франция — $B_1 = 140$; $B_2 = 145$; $B_3 = 160$ и отнош. $B_1 : H_1 = 0{,}97$; $B_2 : H_2 = 0{,}8$; $B_3 : H_3 = 0{,}9$

Германия — $B_1 = 150$; $B_2 = 160$; $B_3 = 180$ и отнош. $B_1 : H_1 = 0{,}94$; $B_2 : H_2 = 0{,}9$; $B_3 : H_3 = 1$.

Англия — $B_1 = 165$; $B_2 = 178$; $B_3 = 178$ и отнош. $B_1 : H_1 = B_2 : H_2 = B_3 : H_3 = 1$.

Для последнего русского профиля Ленинградского трамвая 2-ой очереди $H = 180$; $B = 170$ и $B : H = 0{,}94$; широкие подошвы встречают большие затруднения в прокатке и казалось бы, что отношение $B : H = 0{,}9$ можно принять как норму, осуществимую на практике и в достаточной степени удовлетворяющую условиям устойчивости и жесткости пути. В случае применения шпал отношение это может быть понижено до 0,8, и ширина подошвы 160 мм. будет вполне достаточна.



Черт. 38.

Американский профиль желобч. рельса.

Толщину краев подошвы по условиям прокатки не следует делать менее 7 мм. В последних нормальных профилях она колеблется от 5 до 6,7 мм. во Франции, 8 мм. в Германии 7 мм. в Англии.

Уклоны поверхностей подошвы соприкасающихся с накладками берутся от 1/10 до 1/8.

Из Европейских рельсов несколько отличается по своим размерам рельс Венского трамвая. Высота и ширина подошвы этого рельса равна 210 мм., ширина и глубина желоба — 35 мм., ширина головки — 55 мм., высота ее — 27 мм., толщина губки — 20,5 мм., толщина шейки — 11,5 мм. Как видно, главное отличие заключается в высоте рельса, что обуславливается мостовой из гранитных кубиков большой высоты и малой высотой головки.

Совершенно особый профиль имеет Американский рельс. Как видно из чертежа (черт. 38), желоб рельса очень открытый и широкий, он легко очищаем, гарантирован от застревания в нем шин и подков и даже приспособлен для проезда тяжелых фур. Головка имеет уклон в сторону желоба и прилив трапецоидальной формы на протяжении 22 мм.

Эта часть головки не работает от вертикальной нагрузки, но увеличивает плоскость соприкосновения с накладкой и, кроме того, благодаря наклону дает возможность понизить уровень мостовой на 9,6 мм. ниже горизонта головки на междопутии и на обочинах колеи. Таким образом, вся изнашивающаяся работающая часть головки находится выше уровня

мостовой, благодаря чему головка менее загрязняется, и понижение головки по мере ее износа не требует понижения мостовой. Одним из преимуществ данного рельса является возможность пропуска вагонов пригородной железной дороги с широкими бандажами и ребордами. Вообще, в этом профиле отразилось наиболее полно стремление удовлетворить требованиям экипажного и трамвайного движения.

Примечание: Указанный профиль имеет большие преимущества тогда, когда по путям трамвая предполагается пропуск поездов пригородных линий, имеющих длинные четырехосные вагоны с широкими бандажами и большой игрой S.

Имеются два нормальных типа отличающихся высотой рельса: $H = 7''$ и $H = 9''$; ширина подошвы в обоих типах одинакова, $B = 6''$. Меньшая ширина подошвы по сравнению с Европейскими профилями объясняется почти исключительно применением шпал даже при бетонных основаниях. Характерно утолщение шейки к подошве. Все размеры профиля указаны на чертеже.

Помимо указанных типов в Америке имеется большое разнообразие профилей, причем в последнее время заметен уклон в пользу европейских профилей.

Форма Американского профиля имеет несомненные преимущества перед Европейскими профилями в смысле большей открытости желоба, облегчающей его очистку, особенно при климатических условиях, способствующих образованию гололеда и снежных заносов. Несомненны и преимущества возвышенной над уровнем мостовой головки, но эти преимущества сопряжены с увеличением веса столь значительным, что выражаются в весьма крупных расходах по постройке.

В вышеприведенном кратком перечне мы указали лишь основные типы рельсов; в действительности их значительно больше, и разные города Европы имеют свои специальные профиля даже в одной стране. В России буквально каждый трамвай имеет свой рельс. Разнообразие это не оправдывается никакими разумными причинами и является результатом отсутствия связи между отдельными предприятиями и общего объединяющего органа.

На международных съездах пока еще не поднимался вопрос о выработке общих типов, что и понятно, если иметь в виду климатические, национальные и культурные особенности разных стран. Пока вопрос стоит о нормировке лишь в пределах данной страны, и в этом направлении во многих странах Европы и Америки выработаны уже нормальные профиля. Типы эти пока еще не приняты повсеместно, но постепенно несомненно они войдут в жизнь и вытеснят случайные профиля, применяющиеся в различных трамваях.

Нормировка профилей рельсов имеет большое значение, так как выработанный профиль является результатом опытных наблюдений не

одного какого-либо трамвая, но многих предприятий, работающих в различных условиях, причем и наблюдения ведут разные лица. Участие представителей многих заводов гарантирует, что заводская техника даст все, что она может, тогда как один завод при отсутствии крупной конкуренции несомненно будет менее заинтересован и из экономических соображений будет отстаивать свои личные выгоды. Наконец, сведение всех профилей к нескольким нормальным типам удешевит их производство, а новые предприятия, недостаточно оборудованные техническими силами, оградит от возможных ошибок, неизбежных при самостоятельной проектировке без достаточного опыта.

В России вопрос о нормировке был поднят до войны по инициативе Ленинграда перед постройкой линий 2-ой очереди. Работу предполагалось вести совместно с Москвой, был обмен мнений на VI-ом Электротехническом Съезде, но к соглашению не пришли, и в результате Ленинград разработал свой профиль, который и был осуществлен для линий 2-ой очереди. Данными для проектировки послужили наблюдения над работой рельсов 1-ой очереди, заключавшиеся в целом ряде снимков износов в разных условиях работы. С другой стороны, разработанные в то время нормальные профиля Германии и Англии послужили образцами последних технических воззрений Европы в данном вопросе.

Уже в то время, как и ныне, можно было считать установленным:

1) Что для прямых и кривых участков пути должны быть спроектированы особые рельсы, отличающиеся шириною желоба и толщиною и очертанием губки.

2) Что для столичных трамваев высота рельса в среднем должна быть равна 180 мм., при ширине подошвы равной высоте при бесшпальных основаниях.

3) Что средняя ширина желоба должна быть равна 30 — 32 мм., при глубине его равной ширине.

4) Что ширина головки в среднем должна быть равна 55 мм., при толщине ее в 30 мм. и допускаемом износе от 12 до 15 мм.

Означенный профиль приведен выше (черт. 34) со всеми размерами; работа его в продолжение 10 лет дала вполне удовлетворительные результаты и подтвердила правильность проектировки. Возник лишь вопрос об увеличении глубины желоба с целью увеличить допускаемый износ, а следовательно и срок службы рельса. Вопрос этот обсуждается в настоящее время в Управлении Ленинградского трамвая совместно с Москвой [1]).

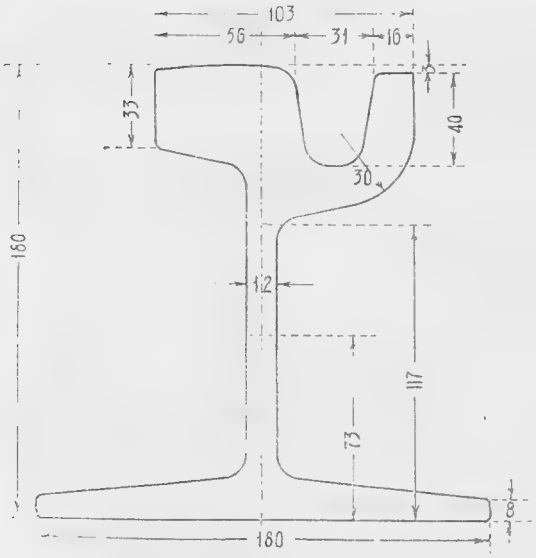
Есть стремление увеличить глубину желоба до 40 мм., по аналогии с последними нормальными профилями Германии и Франции. При решении этого вопроса однако не следует упускать различия в климатических условиях и типах и содержании мостовых. В Германии и Франции

[1]) В настоящее время работы закончены: приняты 4 нормальных профиля рельсов „Феникс“ и 2 — „Виньоля“.

имеются мостовые совершенных типов, которые содержатся в идеальной чистоте.

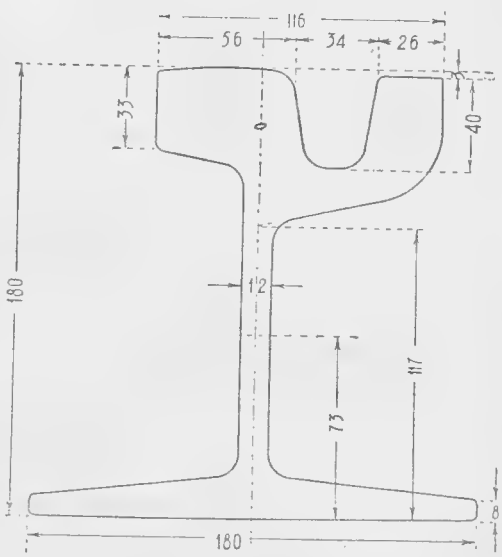
В других условиях углубление желоба может повлечь такое его загрязнение, что расходы по очистке его и перерасходу тока превзойдут экономию, получаемую от большего срока службы рельса. Принятая глубина желоба в 38 мм., при высоте реборды в 18 мм. и допускаемом износе головки в 12 мм., гарантирует срок службы рельса до 20 лет, срок настолько значительный, что при быстром прогрессе техники могут появиться новые конструкции, что весьма возможно при новых тенденциях в планировке городов и постепенной замене конного движения автомобильным. Тогда устаревший рельс явится живым мертвецом, нарушающим гармонию технического оборудования города. В этом отношении пример Америки, стремящейся „осуществлять конструкции, имея в виду скорую их замену более совершенными", весьма поучителен.

Помимо указанных принципов проектировки рельсов необходимо отметить, что для близких по основным размерам профилей совершенство профиля характеризуется отношением момента сопротивления к весу единицы длины рельса $\frac{W}{Q}$: чем это отношение больше, тем лучше использован материал, тем профиль лучше.



Черт. 39.

Нормальн. Германск. профиль для прямых.



Черт. 40.

Нормальн. Германск. профиль для кривых.

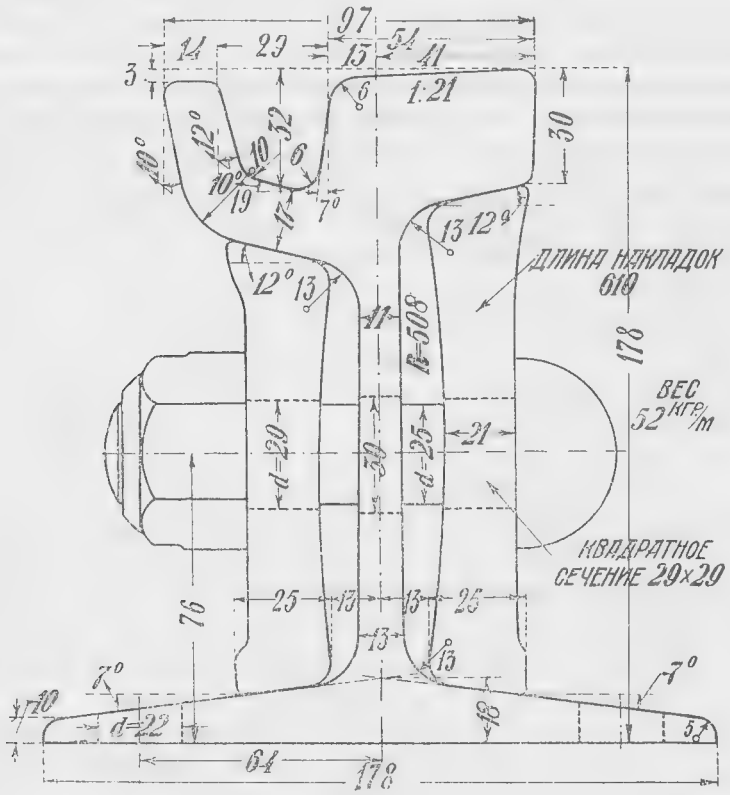
Сравнивая с этой точки зрения нормальные профиля Англии, Германии, Франции и Ленинграда 2-ой очереди, близкие по размерам, имеем:

Англия . . . . . $\frac{W}{Q} = 6{,}9$

Германия . . . . . $\frac{W}{Q} = 343/57{,}8 = 5{,}9$

Франция . . . . . $\frac{W}{Q} = 307/51{,}98 = 5{,}9$

Ленинград . . . . . $\frac{W}{Q} = 325/51{,}7 = 6{,}3$



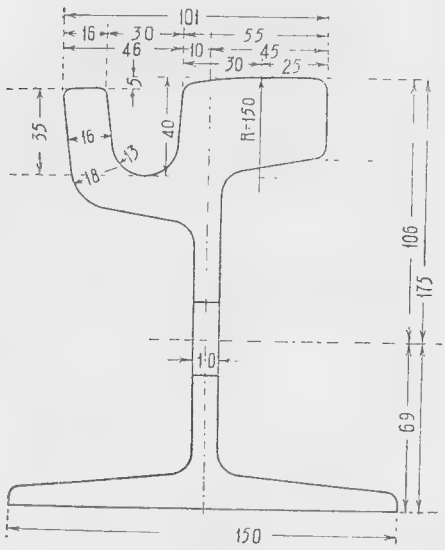
Черт. 41.

Нормальный Английский профиль для прямых.

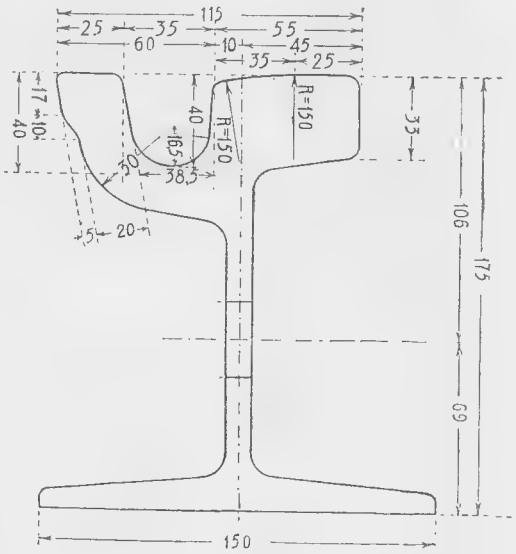
Максимум W/Q дает английский и ленинградский профиля. Для иллюстрации приводим нормальные профиля рельсов: на черт. 39 и 40 представлены нормальные германские профиля, на черт. 41 нормальный английский профиль, на черт. 42 и 43 нормальные французские профиля, черт. 44 — профиль Гамбурга, черт. 45 — профиль Вены, черт. 46 — профиль Америки.

В таблице помещенной ниже, на стр. 46 — 47, приведены размеры нормальных профилей последнего времени.

Помимо желобчатых рельсов на городских железных дорогах применяется и специальный профиль Виньоля. Как было уже указано выше, применение „Виньоля“ в пределах мостовых затрудняется устройством желоба вдоль головки рельса. Вообще говоря, рельс Виньоля представляет следующие преимущества: 1) Он легко прокатывается, и стоимость его меньше при одном и том же весе, 2) Он представляет меньше сопротивления при проходе подвижного состава, и потому уменьшается расход тока. 3) Головка его симметрично расположена относительно шейки, следовательно, нагрузка более правильно передается



Черт. 42.
Нормальный Франц. профиль для прямых.



Черт. 43.
Нормальный Франц. профиль для кривых.

от головки к подошве через шейку. 4) При одной и той же мощности он легче желобчатого рельса, так например, рельс „Феникс“ (Ленинград 2-ой очереди) 51,7 $\frac{\text{кгр.}}{\text{м.}}$ и „Виньоль“ 41,1 $\frac{\text{кгр.}}{\text{м.}}$, т.-е. экономия в стоимости рельсов от одного уменьшения в весе достигнет 20%, а, считая меньшую цену единицы веса, общая экономия достигнет 30%.

Преимущества эти парализуются отсутствием желоба со всеми вредными последствиями этого. Удовлетворительным можно признать лишь устройство желоба из тесаных гранитных камней — способ применяющийся в Америке. Стоимость этих камней при ручной теске несом-

ТАБЛИЦА.

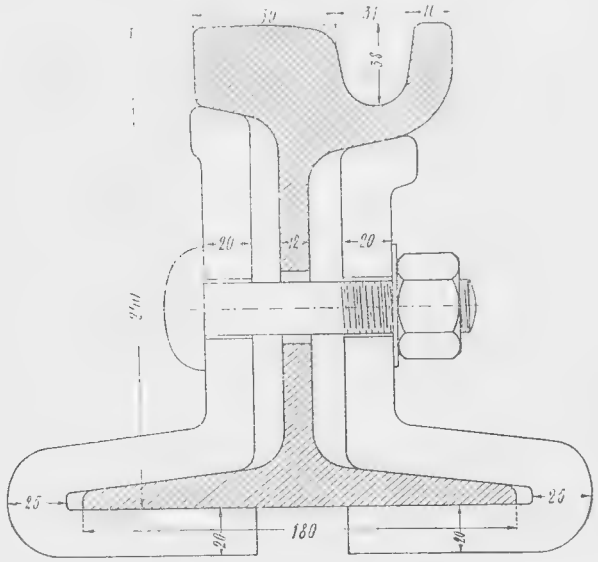
		ЛЕНИНГРАД		НОРМАЛЬНЫЕ АНГЛИЙСКИЕ.					НОРМАЛЬНЫЕ ГЕРМАНСКИЕ.				НОРМАЛЬНЫЕ ФРАНЦУЗСКИЕ.			ВЕНА.
		II оч.	1924 г.													
Высота рельса	H	180	180	165	165	165	178	178	160	180	180	180	145	175	180	210
Ширина подошвы	B	170	170	160	178	178	178	178	150	150	160	180	140	145	160	200
Ширина головки	e	55	58	48	49	51	54	57	51	51	55	56	46	51	56	55
Высота головки	h_1	30	30	27	27	30	30	30	29	29	33	33	27	27	31	27
Ширина желоба	c	32/32	32/40	29/32	29/32	29/32	29/32	29/32	31/34	31/34	31/34	31/34	35/35	35/41	29/32	34
Глубина желоба	h_2	32	38/36	29	27	30	30	30	40	40	40	40	38	40	40	35
Толщина губки	f	15/26	17/26	13/21	14/21	14/21	14/21	14/21	15,24	40	16/24	16/24	14/14	15/21	16/23	20,5
Толщина шейки	k	11	11/13	10/12	10/12	11/13	11/13	11/13	12	12	12	12	10	10,5	11	11,5
Расстояние оси шейки желоба	ψ	15	18	12	12	13	13,5	14,5	—	—	—	—	—	—	—	—
Повышение губки	ε	−3 +10	−4/+5	−3	−3	−3	−3	−3	−3	−3	−3	−3	0	0	−4/+4	−3
Толщина подошвы	η	7	7	7	7	7	7	7	8	8	8	8	5	6,7	6,7	8
Радиус выкружки	r	250	250	225	225	225	225	225	225	225	225	225	—	—	—	200
» »	r′	8	8	6	6	6	6	6	10	10	10	10	5	5	5	10
Углы наклона граней	α	7°	9°	7°	7°	7°	7°	7°	1/6	1/6	1/6	1/6	1/10	1/10	1/10	5°
» » »	β	16°	16	16°	16°	16°	16°	16	1/6	1/6	1/6	1/6	1/10	1/10	1/10	11°20′
» » »	γ	12°	12°	12°	12°	12°	12°	12°	1/5	1/5	1/5	1510	1/5	1/5	1/5	—
» » »	δ	7°22′	7°22′	7°	7	7	7°	7°	1/10	1/10	1/10	1/10	1/8	1/8	1/8	—
Вес в кгр. на 1 пог. м.	—	51,67	55,17	44,6	47,1	49,6	52,1	54,6	49,2	51,2	56,0	57,8	41,34	47,76	51,98	—
Отношение	B/h	0,94	0,94	0,97	—	—	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—
»	h_1/e	0,55	0,50	0,50	0,56	0,60	0,56	0,54	—	—	—	—	—	—	—	—
»	c/h_2	1,00	0,83	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
»	k/h	0,06	0,07	0,07	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
»	ψ/e — ψ	0,38	0,45	0,25	—	—	—	—	0,42	—	—	—	0,31	0,28	0,24	—
»	$\frac{e - \psi}{f + e + \psi}$	0,65	0,60	0,65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Примечание: В графах — ширина желоба c и толщина губки f — знаменатели дробей размеры специального рельса для кривых.
В графе — толщина шейки k — числитель показывает толщину шейки у головки, а знаменатель у подошвы.

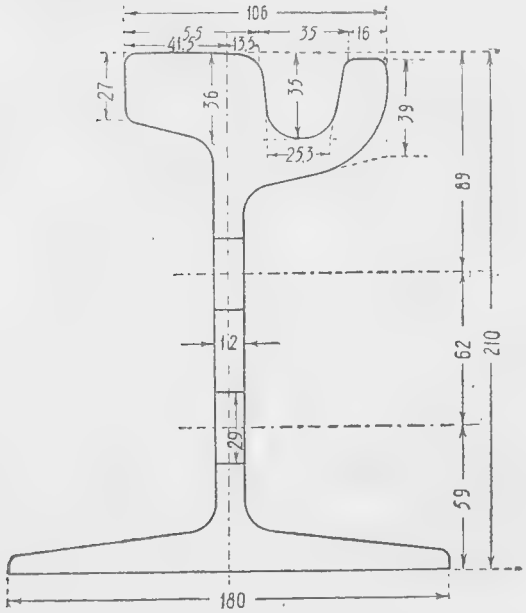
ненно превзойдет экономию от применения рельса Виньоля, и только машинный способ зготовления может оказаться выгодным.

При этом необходимо, чтобы бордюрные камни, равно как и вся мостовая, были устроены на бетонном основании с заливкой цементом, дабы конструкция мостовой гарантировала устойчивость бордюрных камней и постоянство желоба.

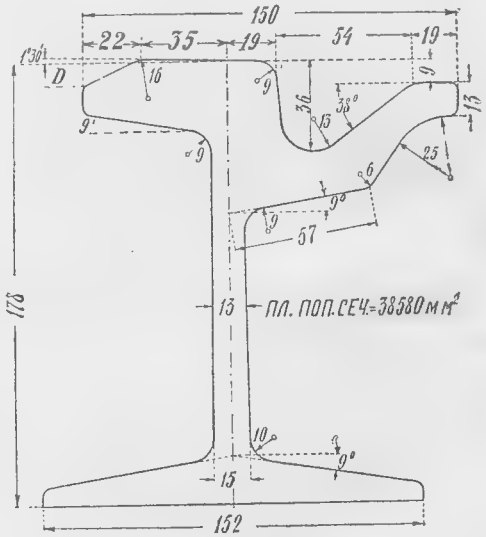
Специальные профиля Виньоля для городских железных дорог наиболее разработаны в Америке; в Европе пока нет их нормировки, имеются лишь отдельные профиля для разных городов, и потому мы приведем главным образом американские данные.



Черт. 44.
Профиль рельса г. Гамбурга.



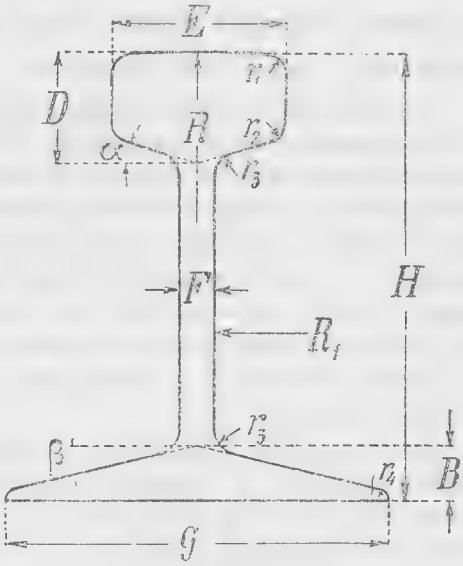
Черт. 45.
Профиль трамв. рельса г. Вены.



Черт. 46.
Профиль желоб. рельса Америк. типа.

Союз американских электрических железных дорог рекомендует рельс типа „Виньоль“ для путей трамваев, укладываемых в пределах мостовых улиц, в тех случаях, когда экипажная езда не настолько интенсивна, что полоса путей почти постоянно ими занята, и когда улица настолько широка, что экипажи не двигаются вдоль самых рельсов, иными словами, когда вдоль рельсов не имеется постоянной продольной езды экипажей, а лишь возможна поперечная езда при переезде с одной стороны на другую.

Действительно, продольная езда представляет наибольшие опасности в смысле задевания колесных шин за головки рельсов, сопряженного с их порчей и могущего при быстрой езде повлечь опрокидывание или сильный боковой толчек экипажа. Кроме того продольная езда вдоль рельса будет расстраивать желоб из бордюрных камней. Указанные условия почти отсутствуют на улицах крупных городов, особенно в центральных частях, и поэтому рельс Виньоля можно укладывать лишь в малых городах с небольшим экипажным движением или на окраинах города, прилегающих к пригородам и дачным местам.



Черт. 47.
Профиль рельса „Виньоль“ Американского типа.

Союзом предложено несколько нормальных типов рельсов: 2 типа для улиц с мостовыми толщиной около 7″ и серия рельсов для мостовых требующих меньшей толщины. (На чертеже 47 представлен профиль рельса Виньоля весом 49,7 $\frac{\text{кгр.}}{\text{м.}}$, высотой 7″). Размеры этих двух типов приведены в таблице.

	A	B
Вес погонного метра в кгр.	49,7	39,8
Высота рельса H в мм.	178	178
Ширина подошвы G	152	152
Высота головки D	43	33
Ширина головки E	70	63,5
Толщина шейки F	14	11
Толщина подошвы B	22	17,5

Радиусы выкружки	R	356	305
	R_1	∞	∞
	r_1	8	8
	r_2	1,5	1,5
	r_3	8	8
	r_4	5	5
Углы наклона	α	13°	9°
	β	11°	9°

Указанные типы предназначены для мостовых большой толщины слоя, причем более мощный тип, весом 49,7 $\frac{\text{кгр.}}{\text{м.}}$, употребляется при интенсивном тяжелом движении поездов, более легкий, 39,8 $\frac{\text{кгр.}}{\text{м.}}$, — для движения средней и малой интенсивности.

Как видно из таблицы, рельсы отличаются размерами головки и шейки, в соответствии с условиями работы. Оба типа по сравнению с нормальными железнодорожными отличаются большей мощностью головки, большей высотой рельса, меньшей величиной отношения G/H и меньшей толщиной шейки. Очевидно, при проектировке исходили из тех положений, что рельс трамваев может быть менее устойчив по отношению к горизонтальным усилиям, так как они сами по себе меньше и рельс заделан в мостовую, и что головка должна быть рассчитана на больший срок службы рельса при сильных износах ее в зависимости от специальных условий работы, указанных выше.

Кроме указанных типов союзом предложены две серии профилей для укладки на улицах с мостовыми небольшой толщины. Размеры рельсов приведены в нижеследующей таблице, причем обозначения сохранены по чертежу 47 (см. табл. на стр. 51).

Две приведенные серии отличаются главным образом высотой рельса и предназначаются для разных толщин мостовых. Деление каждой серии на группы по весу $\left(39{,}8\ \frac{\text{кгр.}}{\text{м.}},\ 44{,}7\ \frac{\text{кгр.}}{\text{м.}},\ \text{и}\ 49{,}7\ \frac{\text{кгр.}}{\text{м.}}\right)$ предусмотрено в зависимости от интенсивности движения поездов: сильного, среднего и слабого. Приведенные рельсы нужно отнести к рельсам большой мощности и веса, с мощными шейками и подошвой, что особенно бросается в глаза для серии № 2. Правда, что мощные подошвы дают большую равномерность распределения материала, но не оправдываются условиями работы рельса при отсутствии больших вертикальных нагрузок и горизонтальных толчков. Казалось бы, что означенные профиля без ущерба для их прочности можно было бы облегчить за счет уменьшения толщины шейки и подошвы.

Типы первой таблицы ($H = 178$ мм.) представляют более рациональное использование материала, особенно в типе „B“.

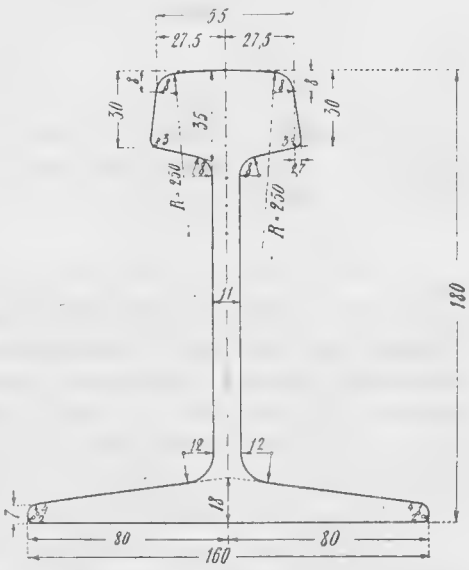
По сравнению с этим профилем рельсы серии № 1 и № 2 имеют ничем неоправданные более толстые шейки и подошвы; в рельсе типа „B“

	СЕРИЯ № 1			СЕРИЯ № 2		
Вес погон. метра в кгр. .	39,8	44,7	49,7	39,8	44,7	49,7
Высота рельса H в мм. .	130	143	152	122	134	143
Ширина подошвы B „ .	118	130	140	113	121	131
Высота головки D „	36,5	37	40	37	41	43
Ширина головки E „ .	63,5	65	70	62	65	67
Толщина шейки F „ .	13	14	14	13	14	14
Радиусы выкружки R „ .	356	356	356	305	305	305
„ „ R_1 „ .	356	356	356	305	305	305
„ „ r_1 „ .	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	305
„ „ r_2 „ .	2	2	2	2	2	—
„ „ r_3 „ .	2	2	2	2	2	—
„ „ r_4 „ .	8	8	8	8	8	—
Углы наклона α „ .	1/4	1/4	1/4	13°	13°	14
„ „ β „ .	1/4	1/4	1/4	13°	13°	13
Толщина подошвы B „ .	24,5	25,4	27	25,4	26	27

толщина шейки 11 мм. и подошвы 17,5 мм., в рельсах серии №№ 1 и 2, меньшей высоты, толщина шейки 13 — 14 мм. и подошвы 25 — 27 мм. Поэтому профиля рельсов этой серии нельзя считать рациональными для городских линий. Правильнее было бы, оставляя те же размеры головки, принять размеры шейки и подошвы по типу „B“, — что уменьшило бы вес рельсов.

У нас, в России, пока еще не было нормировки рельс Виньоля специально для укладки в городах. Имеется лишь специальный профиль Виньоля для Ленинградского трамвая 2-ой очереди [1]).

Профиль приведен на черт. 48. Он спроектирован в согласии с аналогичным профилем „Феникс“, при



Черт. 48.
Специальный профиль „Виньоль“ для лин. 2-ой очереди Ленингр. трамвая.

[1]) В последнее время нормированы два профиля, высотой H=180 мм. и H = 160 мм.

точном совпадении головки и той же высоте рельса, для получения простого соединения в стыках. Означенный профиль близко подходит к американскому профилю „B“; вес его 41,12 $\frac{\text{кгр.}}{\text{м.}}$, уширение головки в нижней части сделано в соответствии с очертанием головки рельса „Феникс“. Для типов рельсов, предназначенных для укладки совместно с линиями „Феникс“, такая форма желательна. Ширина головки в американском профиле, доходящая до 70 мм., может быть оправдана лишь в том случае, если по данным рельсам предположен пропуск поездов пригородных железных дорог с бандажем большей ширины, в противном случае, если предполагается пропуск лишь вагонов городского трамвая, ширина головки 55—60 мм. вполне достаточна.

Вообще говоря, при нормировке рельсов Виньоля достаточно было бы иметь четыре типа рельсов, находящихся в зависимости от толщины слоя мостовой и интенсивности движения. Толщина мостовой варьирует от 60 мм. (асфальтовая) до 180 мм. (булыжная и гранитные кубики). В России реально приходится считаться, главным образом, с булыжной мостовой, каковая для сильного движения имеет толщину 180 мм. (4 в.) и слабого — 135 мм. (3 в.). Казалось бы, что достаточно иметь рельсы этих двух высот, классифицируя их приблизительно таким образом:

I. Рельс высотой в 180 мм. для мостовых большой толщины	A — для интенсивного движения. B — для слабого движения.
II. Рельс высотой в 150 мм. для мостовых малой толщины	A — для интенсивного движения. B — для слабого движения.

Таким образом, для крупных трамваев с большим движением служили бы рельсы I — A и II — A, для малых трамваев рельсы I — B и II — B. В настоящее время для малых трамваев в России, за неимением специальных профилей, пользуются обычно легкими типами железнодорожных рельсов, по преимуществу „инспекторский брак“, или старыми, снятыми с главных путей. Конечно это не рационально и может быть терпимо, как временная мера, ввиду отсутствия средств и при сравнительно малом распространении трамваев в России.

Пригородные железные дороги имеют пути вне мостовой и экипажного движения и потому находятся в условиях аналогичных с железными дорогами нормального типа, за исключением условий специальной работы рельса в зависимости от малых поездных единиц, частых остановок, сравнительно малых горизонтальных усилий и меньших вертикальных нагрузок. Для них могут быть применены рельсы нормальных железных дорог средней

мощности, что мы и находим в большинстве случаев в Европе и Америке. В России на первой дороге этого типа был применен нормальный железнодорожный рельс казенного типа II-а весом $38{,}5 \frac{\text{кгр.}}{\text{м.}} = 28{,}5 \frac{\text{фунт.}}{\text{футу.}}$, высотой — 135 мм., при ширине подошвы — 114 мм., ширине головки — 68 мм. и высоте ее — 40 мм.

В зависимости от нагрузок, скорости и интенсивности движения и, наконец, в зависимости от средств, которыми располагает постройка, можно применить один из четырех казенных типов приводимых в таблице.

	I-ый	II-ой	III-ий	IV-ый
	в мм.			
Высота рельса H	140	135	128	120.5
Ширина подошвы G	125	114	110	100
Ширина головки E	70	6[illegible]	60	53,5
Высота головки D	44	40	37	35
Толщина шейки F	14	13	12	12
Толщина подошвы B	10.04	9.03	8.03	7,75
Углы наклона α / β	1/3	1/3	1/3	1/3
Вес	32,5 ф/ф. = = 43,6 к/м.	28,6 ф/ф. = = 38,4	24,9 ф/ф. = = 33,5	23,0 ф/ф. = = 30,9 к/м.

Выше мы уже отметили специальные условия работы трамвайных рельсов, в силу которых мощность их не только не уступает железнодорожным профилям, но даже превосходит их.

При выработке железнодорожных профилей преследовалась цель удовлетворить требованиям рациональной работы рельса в соответствии с действующими усилиями при наименьшем весе рельса, не нарушая требований прокатки, в целях получить наилучший по качеству металл. Выработанные профиля получились в результате опытных наблюдений за продолжительное время и характеризуются соотношением их основных частей. В этом отношении интересно сравнить в основных частях соотношения железнодорожных и трамвайных профилей:

$\frac{\text{Ширина подошвы } G}{\text{Высота рельса } H}$	= от 0,8 до 1,0 — в жел. дорогах	и 0,8 до 1,0 в трамваях.
$\frac{\text{Высота головки } D}{\text{Ширина головки } E}$	= „ 0,6 „ 0,7 „ „	и 0,6 до 0,7 в трамваях.
$\frac{\text{Толщина шейки } F}{\text{Высота рельса } H}$	= „ 1/10 „ 1/8 „ „	1/16 до 1/13 в трамваях.

Из этого сравнения видно, что только в толщине шейки имеется значительная разница, что объясняется меньшей величиной вертикальной нагрузки и горизонтальных усилий. В дальнейшем, существенное отличие заключается в меньшей симметричности профиля в вертикальном и горизонтальном направлении, как результат желобчатой формы головки. Ввиду этого трамвайные рельсы трудны в прокатке и дают менее выгодное распределение металла, так как нейтральная ось более отступает от оси симметрии, чем в профилях Виньоля.

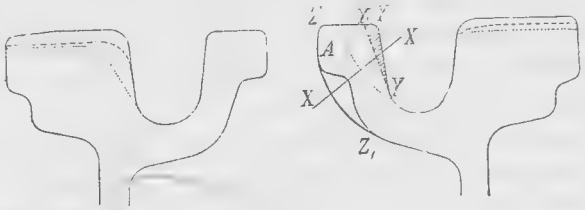
Относительно качества металла требования для трамвайных рельсов несколько иные, чем для железнодорожных. По условиям железнодорожного движения рельсовая сталь должна одинаково хорошо сопротивляться изгибающим усилиям и ударам, а также и трению от действия бандажей, т.-е. они должны обладать большим сопротивлением и твердостью и одновременно тягучестью. Качеством этим обладает чистая однородная сталь. По нормальным русским техническим условиям рельсовая сталь должна иметь сопротивление разрыву $R = 65 \frac{\text{кгр.}}{\text{мм.}^2}$, при удлинении $i = 6\%$, причем $R + 2i$ должно быть не менее 82. Ввиду отсутствия больших скоростей движения и меньшей опасности от лопнувших рельсов в трамваях, главным образом необходимоо братить внимание на твердость металла для наибольшей сопротивляемости износу от трения. Это обстоятельство отразилось в повышении сопротивления разрыву $R = 70 \frac{\text{кгр.}}{\text{мм.}^2}$, при 8% удлинении. Не касаясь здесь подробно технических условий приемки трамвайных рельсов, отметим лишь необходимость при выработке новых профилей рельсов, а равно и при сравнении имеющихся профилей, учитывать требования прокатки и качество металла, как одно из наиболее важных условий долгосрочной службы рельсов.

Рельсы для кривых.

Выше мы отметили уже, что в кривых частях пути укладываются рельсы специального профиля. Перейдем к их описанию.

Специальные рельсы для кривых отличаются более широким желобом и мощной губкой контр-рельса, расчитанной на боковой износ при проходе подвижного состава. Боковые износы рельсов на кривых весьма зна-

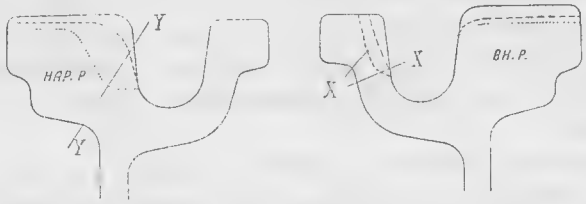
чительны, так как трение при проходе подвижного состава по кривым малых радиусов достигает больших размеров. В силу этого, если направляющими движения оставить головки рельсов, то боковые износы их, превышающие вертикальные износы по абсолютной величине более, чем



Черт. 49.

Износ рельса на кривых Миланского трамвая.

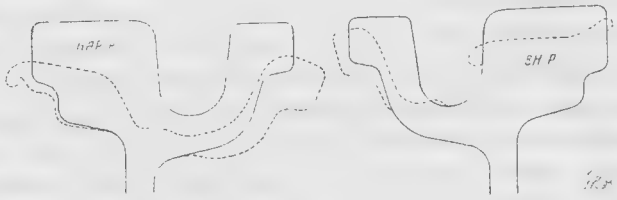
в полтора раза, выведут рельс из строя ранее, чем головка будет полностью использована на вертикальный износ. Ввиду этого, помня основной принцип проектировки, что смена рельса должна быть произведена при полном расчетном износе всех работающих частей



Черт. 50.

Износ рельса на кривых Миланского трамвая.

его, т.-е. головки и контр-рельса, является более выгодным перенести работу от боковых трений с головки на губки контр-рельса и сделать последний направляющей движения по кривой. Поэтому губка контр-рельса должна быть рассчитана на боковой износ, очертание ее рабочей поверх-



Черт. 51.

Износ рельса на кривых Миланского трамвая.

ности должно быть спроектировано так, чтобы получить наименьший и при этом равномерный износ, и желоб должен иметь достаточную ширину во избежание излишних трений.

На чертеже № 49 показаны снятые поперечные рабочие профиля рельсов с показанием их износов пунктирной линией.

Износ снят на кривой $R = 20{,}0$ м. на Лондонской улице в Милане. Рельсы уложены 15/I — 1898 г. Первый износ снят 9/II — 900 г. второй — 12/I — 902 г. Из профилей этих видно, что: 1) рельс по высоте головки изношен мало, 2) губка контр-рельса внутреннего рельса изношена полностью и грозит переломом в сечении XX; 3) головка наружного рельса в боковом направлении изношена больше, чем по высоте.

Отсюда ясно, что: 1) внутренний рельс выбывает из строя из-за износа губки, которая отламывается в сечении XX, причем часть губки A остается неиспользованной, а равно и головка не изношена по высоте; 2) наружный рельс, в котором боковой износ головки значительно превышает вертикальный, тоже выбыл бы из строя при дальнейшей работе, не использовав возможный вертикальный износ; 3) первоначальный боковой износ губки контр-рельса указывает на неправильный наклон поверхности желоба $УУ$, наклон этот следовало-бы сделать положе, по линии $У_1У$. Т.-е. напрашиваются следующие выводы: 1) губка должна быть сделана более мощной и рассчитана на больший боковой износ, 2) счертание ее следовало бы сделать по линиям Z_1Z и $У_1У$; 3) следовало бы не допускать столь большого бокового износа головки наружного рельса, что можно достигнуть, перенеся главную работу на губку внутреннего рельса, увеличением ширины колеи, что, как увидим ниже, повлекло бы за собой уширение желоба.

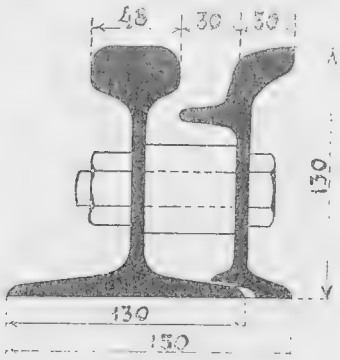
На чертеже 50 показаны профиля изношенных рельсов на кривой $R = 20{,}00$ м. на другом участке той же улицы в Милане. Причем, вследствие излома губки в сечении XX, вся работа перенесена на головку наружного рельса, который неизбежно будет сколот по сечению $УУ$. Этот пример подтверждает необходимость переноса работы по боковому давлению колес подвижного состава на губку контр-рельса внутреннего рельса.

На черт. 51 изображен износ рельсов на площади Собора в Милане, радиус кривой $R = 35{,}00$ м. Помимо наличия износов отогнуты обе губки контр-рельсов, и почти совершенно сработана головка наружного рельса. Отгиб губок показывает, что колеса подвижного состава были зажаты между губками, боковой же износ головки явился результатом того, что губка контр-рельса внутреннего рельса перестала работать.

Из указанных примеров мы видим, что рельсы на кривых должны удовлетворять особым условиям работы в зависимости от значительных горизонтальных усилий, действующих на рельсы при проходе подвижного состава. Расчет ширины желоба, связанной с шириной колеи, будет указан в главе о кривых, здесь же мы приведем основные типы рельсов и отметим их особенности.

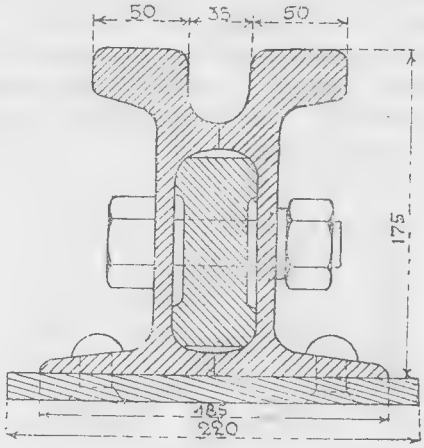
Профиль поперечного сечения рельса для кривых, с одной стороны, должен быть согласован с соответствующим профилем для прямых для возможности соединения

их нормальным стыком, с другой, по условиям работы должен иметь более широкий желоб и более мощную губку. Эти основные требования отразились во всех имеющихся профилях, которые отличаются от профилей прямых лишь размерами и очертанием желоба и губки, причем наружное очертание нижней части желоба, примыкающей к накладке, остается без изменения. Имеется два основных типа: 1) рельсы составные и 2) рельсы цельные. Право старшинства принадлежит первому типу; затем Америка создала тип цельного рельса, который в настоящее время получил почти исключительное применение.



Черт. 52.

Составной рельс Гаармана.



Черт. 53.

Составной рельс для кривых радиуса R = 14 м. Марсельского трамвая.

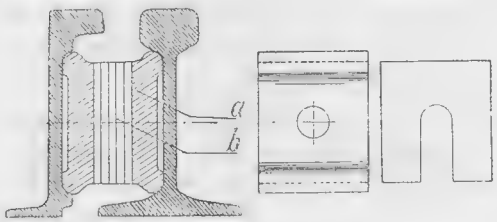
При проектировке составного рельса исходили из того взгляда, что нельзя прокатать такой профиль, который удовлетворит требованию полного одновременного износа от вертикальных и горизонтальных усилий, что всегда горизонтальный износ опередит вертикальный и рельс придется сменить, не использовав его вертикального износа. Действительно, поверхностные наблюдения могут привести к такому выводу, и отсюда понятно возникновение конструкции, в которой губка контр-рельса может быть заменена после ее износа без смены основного рельса.

Наиболее простой конструкцией этого типа является рельс применяемый в Барселоне, приведенный выше (см. черт. 33).

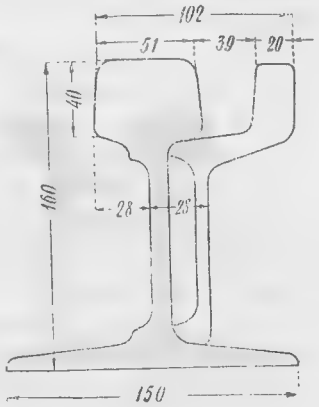
Рельс этот представляется в виде рельса Виньоля с приставным контр-рельсом, соединенным болтами и образующим желоб. Тип этот вышел из употребления и применяется лишь при укладке малых трамваев, где вообще применен рельс Виньоля.

В дальнейшем развитии мы видим рельс типа Гаармана (черт. 52). Конструкция его более солидна и применялась тоже до возникновения типа „Феникс“, имея в основе рельс „Виньоль“.

На чертеже 53 представлена мощная конструкция Марсельского трамвая для кривых малых радиусов, $R = 14 - 20$ м.; аналогичная ей конструкция, примененная в Брюсселе, изображенна на черт. 54. Эта последняя представляет особый интерес, так как позволяет по мере бокового износа контр-рельса изменять ширину желоба путем вынимания пластинок „b“, расположенных между частями „a“ основного вкладыша. Обстоятельство это, возвращая рабочий кант контр-рельса в его первоначальное положение, дает возможность уменьшить боковой износ наружного рельса. Среди нормальных профилей имеется германский тип, представленный на черт. 55. В этом типе основной рельс Виньоля согласован с профилем желобчатого рельса „Феникс“, а приставной контр-рельс дает уширенный желоб и утолщенную губку.



Черт. 54.
Составной рельс Брюссельского трамвая.



Черт. 55.
Составной рельс Германского типа.

Из всех приведенных типов наиболее рациональными являются Марсельский и Брюссельский. В них соединение контр-рельса с рельсом гарантирует постоянство положения рабочего канта контр-рельса, который является направляющей движения; остальные типы, не исключая и нормального Германского, менее устойчивы.

Вообще, недостатки составных рельсов сводятся к следующему:

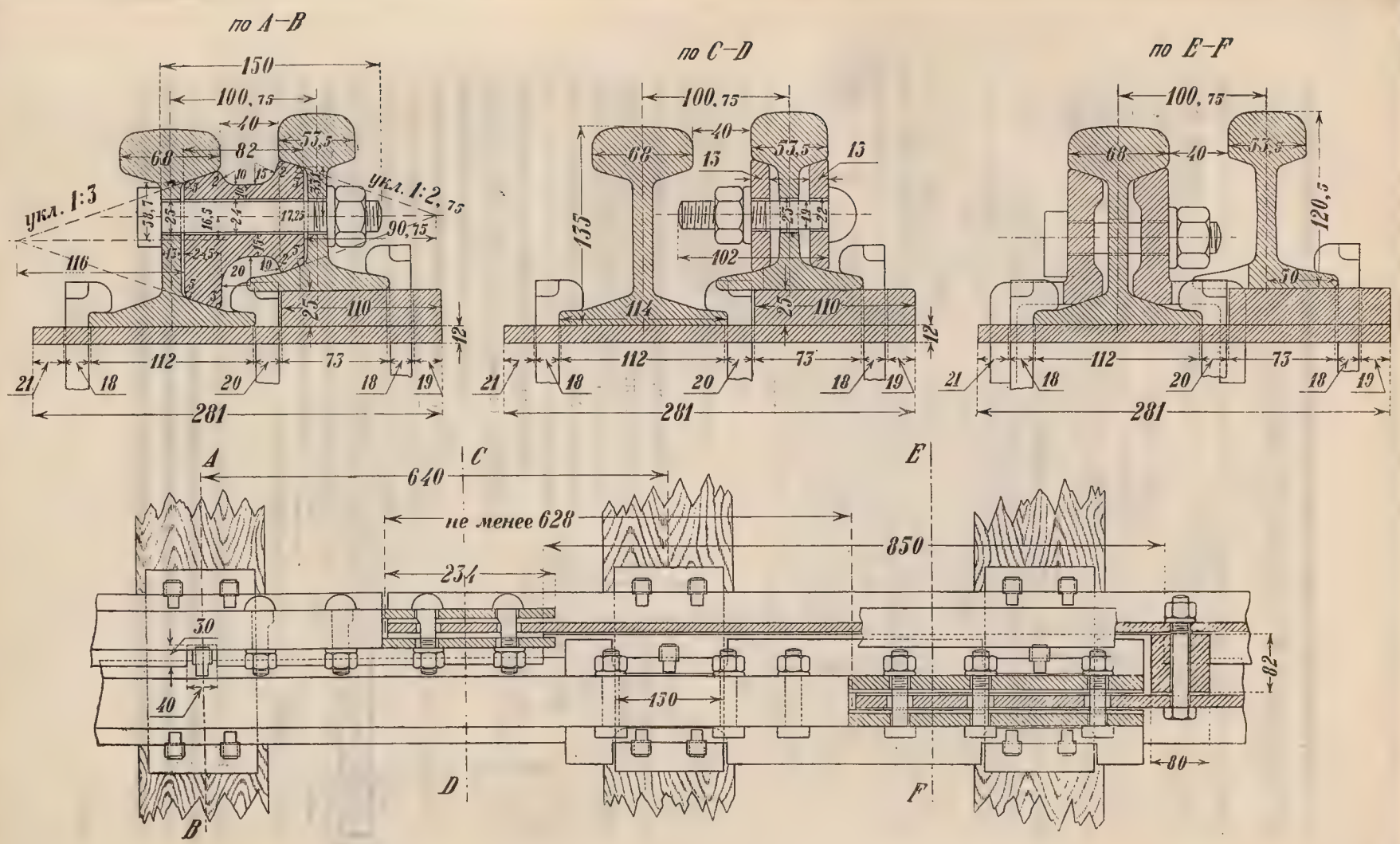
1) От развинчивания болтов нарушается цельность конструкции, рабочий кант контр-рельса отступает от своего правильного положения и в результате может получиться волнообразный боковой износ головки наружного рельса;

2) При замощении путей подвинчивание гаек болтов сопряжено с перемощением мостовой и потому ложится большим накладным расходом;

3) Вода, попадающая в желоб, проникает во все зазоры и при замерзании будет расстраивать цельность соединения, отвод ее затруднителен.

Преимущества составных рельсов выражаются в следующем:

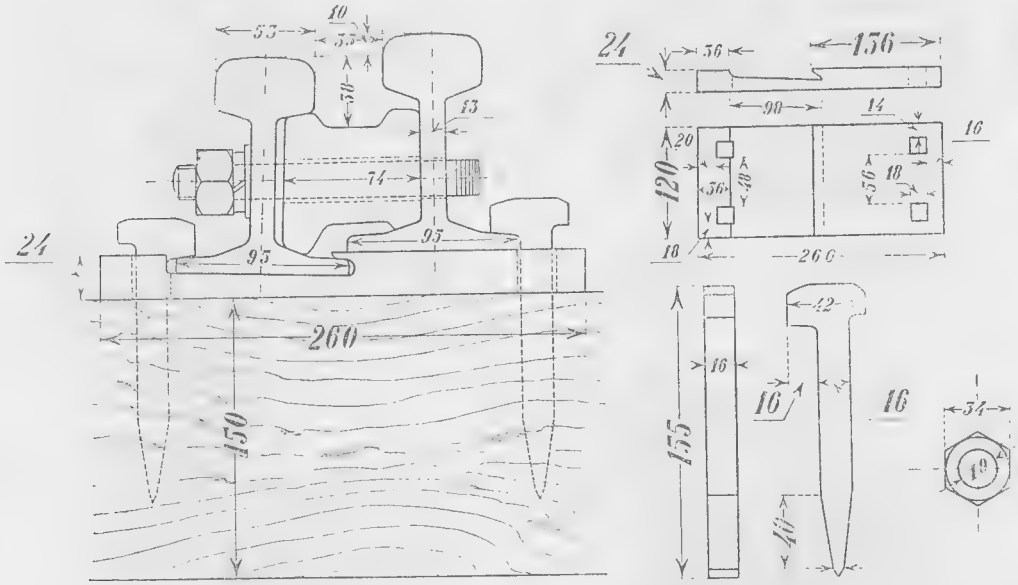
1) Ширина желоба не ограничена пределами возможной прокатки и может изменяться в зависимости от радиуса кривой и по мере износа контр-рельса.



Черт. 56.

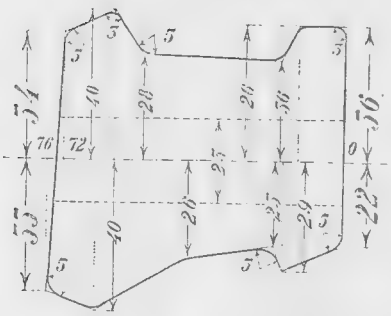
Контр-рельс Ораниенбаумской электрической железной дороги по проекту 1913 г.

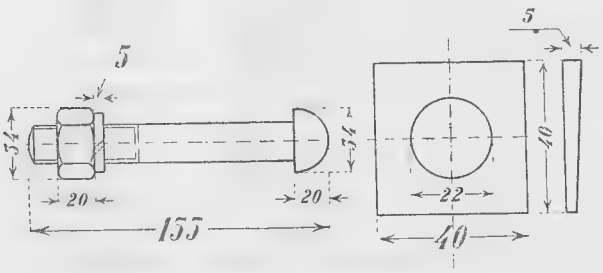
2) Контр-рельс можно заменить после его износа, оставляя основной рельс до полного его вертикального износа.



Черт. 57.

Составной рельс Венских приг. ж.-д.





Суммируя достоинства и недостатки составных рельсов, нельзя не придти к тому заключению, что достоинства их скорее теоретические и не оправдываются на практике.

Необходимо еще отметить, что каждая составная конструкция, состоящая из большого количества отдельных частей, осложняет эксплоатационное хозяйство.

Ввиду изложенного в настоящее время составные рельсы можно рекомендовать лишь для путей укладываемых вне замощения и в исключительно трудных условиях, когда цельный рельс не осуществим по условиям прокатки.

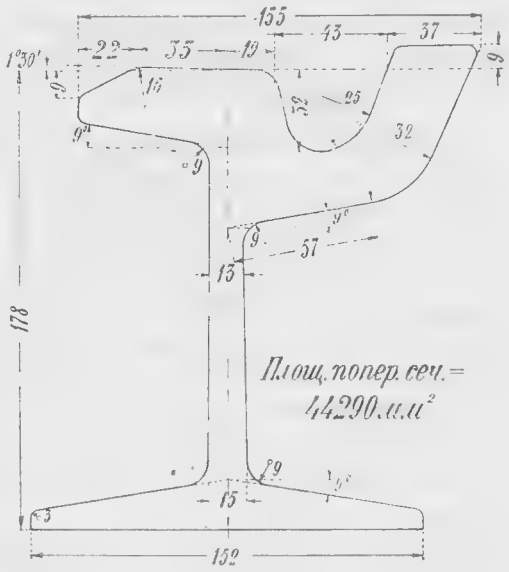
На чертеже 56 представлена конструкция составного рельса для кривых Ораниенбаумской электрической железной дороги (пр. 1913 г.).

Из чертежа видно, что основным рельсом здесь является тип II-ой казенных железных дорог, весом 28,5 $\frac{ф.}{ф.}$, контр-рельс — более легкого профиля, из рельсов типа IV-го, весом 24 $\frac{ф.}{ф.}$. Контр-рельс соединен с основным рельсом болтами с прокладкой чугунных вкладышей. Рельс и контр-рельс покоятся на ступенчатых подушках.

Подобная же конструкция применена в Вене на пригородных линиях (черт. 57). При оценке конструкции необходимо обратить внимание на общую простоту ее при условии:

1) небольшого количества отдельных частей; 2) надежного соединения с основным рельсом; 3) возможности производства ремонта (забивка костылей) без снятия контр-рельса; 4) принятия мер против ослабления натяжения болтов.

В виду указанных недостатков составных рельсов для трамвайных путей в настоящее время они сохранились лишь для пригородных железных дорог и встречаются в малых провинциальных трамваях. Во всех других случаях мы видим применение цельных рельсов. В последних нормальных профилях они исключительно и встречаются.



Черт. 58.

Нормальный Американский профиль рельса для кривых.

Опытные данные наблюдений над работой рельсов на кривых установили, что для кривых радиуса $R \geq 15$ м., при существующих базах ходовых частей и размерах реборд колесных скатов, ширина желоба в 40 мм., осуществимая в прокатке, является достаточной и, в соединении с губкой толщиной до 30 мм., удовлетворяет основным условиям работы рельсов на кривых и гарантирует срок службы рельса до полного вертикального износа головки.

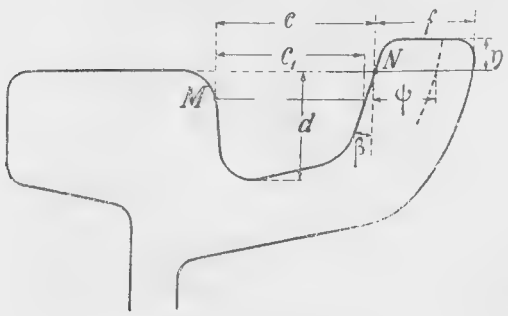
На черт. 58 изображен нормальный Американский профиль рельса для кривых.

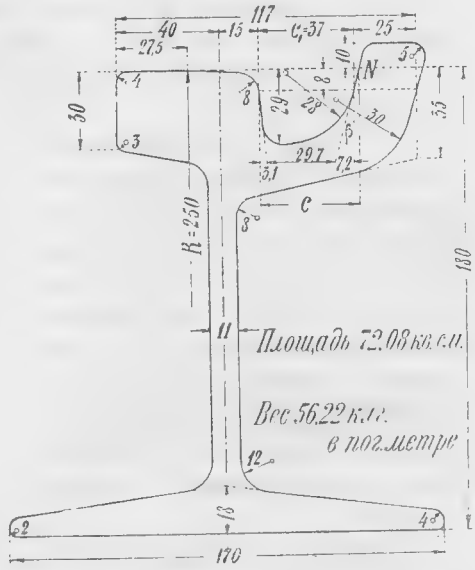
Расчетная ширина желоба рельса доведена до 43 мм., губка повышена над уровнем головки на 9 мм., ширина губки принята равной 37 мм., глубина желоба уменьшена на 3 мм. сравнительно с глубиной соответственного прямого рельса. Во всех остальных частях профиль полностью совпадает

с профилем рельса для прямых. Настоящий профиль послужил прототипом для дальнейших проектировок Европы.

Для характеристики очертания и формы желоба и губки приведем специальный рельс, спроектированный для кривых линий 2-й очереди Ленинградского трамвая. Профиль этот, разработанный по данным наблюдений над работой рельсов на кривых, с учетом опытных данных Европейских и Американских трамваев, отразил в себе полностью установившиеся воззрения в технике и потому является наиболее характерным. На черт. 59 представлен полный профиль и головка с желобом и губкой этого рельса.

Ширина желоба по линии измерения ширины колеи, $c_1 = 37$ мм., а так как реборда, при данном угле наклона $\beta = 16°$, касается губки в точке N, то расчетная ширина желоба $c = 42$ мм. Толщина губки $f = 25$ мм., губка рассчитана на боковой износ





Черт. 59.

Очертание желоба и профиль рельса для кривых 2-ой очереди Ленинградского трамвая.

$\psi = 18$ мм. При чем $\psi = 1{,}5\xi$, где ξ есть величина допускаемого вертикального износа головки, равная 12 мм.

Остающаяся после износа рабочая толщина губки $f - \psi = 25 - 18 = 7$ мм. Губка повышена над уровнем головки на 10 мм., чтобы увеличить рабочую поверхность от бокового износа.

Угол наклона рабочей поверхности губки β определен по соображениям наименьшего и равномерного износа губки и реборды, что получается, если проектировать губку по линии касательной в точке N к очертанию реборды соответственно среднему радиусу кривой (см. ниже главу IV—расчет желоба рельса). Опыт показал, что данный профиль для условий Ленинградского трамвая (одноосные тележки при базе $l = 3{,}00$ — 3,30 м. и данных ребордах бандажей) дает вполне удовлетворительные ре-

зультаты, и рельс выбывает из строя при полном вертикальном износе головки и горизонтальном губки.

Аналогичные типы Европы и Америки отличаются несколько размерами желоба и губки, а именно:

	c	f	β	η = повышению губки над головой.
Ленинградский 2-й очереди . .	42	25	16°	+ 10
Нормальн. Германский	32—34	24—26	—	0
„ Английский	32	21	1[illegible]°	0
„ Французский . . .	32—41	21—24	—	0
„ Американский . .	43	37	20°	+ 9,5
Венский трамвай	35	—	—	0

Как видно из таблицы, Американский, Французский и Ленинградский типы близко подходят друг к другу по ширине желоба, Английский и Германский имеют желоб меньших размеров. Расчет и опытные данные подтверждают, что для наиболее ходовых размеров баз и реборд ширина желоба в 40 мм. является вполне достаточной и может быть принята, как нормальная, тем более, что не встречается препятствий со стороны прокатки. Толщина губки в 25 мм., при допускаемом вертикальном износе не свыше 12 — 13 мм., достаточна, но для рельсов рассчитанных на износ до 18 мм., при глубине желоба в 38 мм., она окажется недостаточной. Исходя из вышеприведенных данных, мы найдем, что $f = 1{,}5\xi + 7$ мм. $= 1{,}5 \times 18 + 7 = 34$ мм., т. е. размер употребляющийся в Американских профилях.

Подобный размер губки встретит затруднение в прокатке, и в России выше размера губки в 27 мм. заводы не идут. Имея в виду, что глубина желоба в рельсах для кривых обычно на 2 мм. менее глубины желоба на прямых, и исходя из предельного размера губки в 30 мм., получим величину допускаемого вертикального износа $\xi = \frac{30 - 6}{1{,}5} = 16$ мм., что при высоте реборды в 18 мм. даст глубину желоба $h_3 = 18 + 16 + 2 = 36$ мм. на кривых и $(36 + 2)$ мм. на прямых.

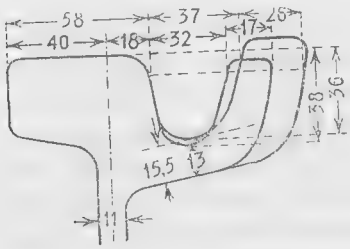
Принимая во внимание неудобство глубоких желобов, казалось бы, что для русских условий не следовало бы применять глубину желоба свыше 36 мм. на прямых и, следовательно, свыше 34 мм. на кривых, чему будет соответствовать толщина губки:

$$f = (34 - 20) \times 1{,}5 + 6 = 27 \text{ мм.}$$

$$\text{при } \xi = 34 + 2 - 18 - 2 = 16 \text{ мм.}$$

Уменьшение глубины желоба на кривых на 2 мм. облегчает прокатку и увеличивает прочность губки, утолщая ее в опасном сечении.

Что касается угла β, то не следует в величине его превосходить угол трения, и в этом отношении $\beta = 16^{\circ}$ удовлетворяет этому условию, а равно и требованиям равномерного износа, что и подтверждается опытными данными. Повышение губки на 10 мм. над уровнем головки имеет существенное значение, увеличивая поверхность трения, особенно в 1-й период работы, но встречает возражение со стороны плавности и безопасности экипажного движения. Имея в виду, что специальные рельсы укладываются на кривых малых радиусов в местах крутых поворотов улиц, где не должно быть скорой езды, можно утверждать, что возражение это несущественно, т. б., что по мере вертикального износа головки и горизонтального износа губки они срабатываются по высоте и от действия экипажной езды. Однако, при мостовых совершенных типов, на площадях и в местах, где можно ожидать интенсивного движения, обстоятельство это имеет значение, чем и объясняется отсутствие повышения губки в нормальных Английских, Французских и Германских профилях. Описанные типы рельсов обнимают собой два крайние случая: укладку рельсов на прямых и укладку на кривых малых радиусов $R \leqq 40$ м. Остается разобрать вопрос об укладке на кривых больших радиусов $R > 40$ м.



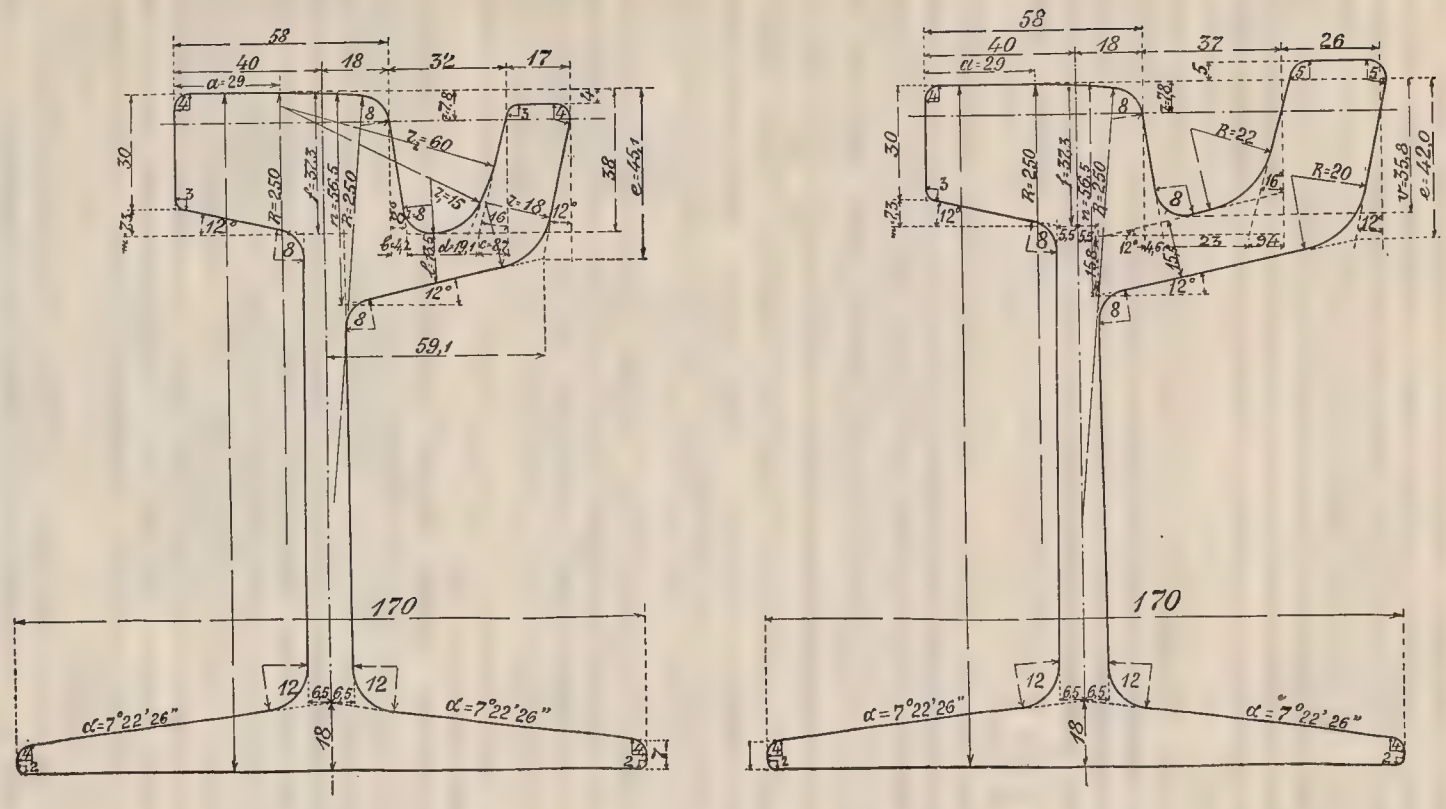
Черт. 60.

Очертание головки и желоба нормального рельса для прямых и кривых в совмещенном виде.

В городах с прямоугольной сетью улиц, подобно Ленинграду, кривых больших радиусов немного, и потому вопрос этот не имеет существенного значения. В городах с радиальной и кольцевой сетью улиц, пример — Москва, кривые больших радиусов преобладают, и, в зависимости от больших скоростей движения, боковой износ достигает на них столь значительных размеров, что нормальный профиль для прямых уже не удовлетворяет условиям движения, и рельс выбывает из строя ранее, чем будет использован вертикальный износ головки, исключительно по причине полного горизонтального износа губки и головки. Явление это подтверждается практикой Московского трамвая.

Отсюда возникают требования либо усиления нормального профиля рельсов, либо создания некоторого промежуточного профиля. Усиление профиля должно итти по двум направлениям: необходимо 1) увеличить допускаемый боковой износ головки и 2) увеличить допускаемый боковой износ губки.

Что же касается ширины желоба, то таковая увеличения не требует.



Черт. 61.

Нормальные профиля для прямых и кривых, принятые на 2-ом Всесоюзном Трамвайном Съезде.

Первое требование удовлетворяется расположением шейки более симметрично относительно головки, второе — утолщением губки. При этом необходимо учитывать нарушение симметрии всего сечения и затруднения в прокатке, как следствие сдвига шейки; причем перемещение шейки должно быть произведено во всех профилях для получения простого удобного стыка. Подобный вопрос возник при выработке в данное время общих профилей рельсов для Ленинграда и Москвы и решен усилением профиля для прямых.

На черт. 60 представлен профиль для прямых (он же и для кривых большого радиуса) и профиль для кривых малых радиусов в совмещенном виде. В профиле для прямых по сравнению с профилем рельс 2-й очереди Ленинграда увеличена ширина головки на 3 мм., шейка отодвинута от желоба на 3 мм., увеличена ширина губки на 2 мм. и увеличена глубина желоба на 6 мм.

Таким образом, исходя из новой глубины желоба, рельс рассчитывают на вертикальный износ головки $\xi = 38 - 18 - 2 = 18$ мм. Перемещение шейки и утолщение губки дает в общем лишних 6 мм. на боковой износ при укладке на кривых большого радиуса. Желоб получился менее открытым: отношение ширины желоба к глубине его, $\frac{c}{h_2} = \frac{32}{38} = 0{,}84 < 1$, приближается к нормальным Германским профилям и может вызывать некоторые опасения со стороны очистки желоба. Перемещение шейки уменьшило общую симметрию сечения, что несомненно затруднит прокатку.

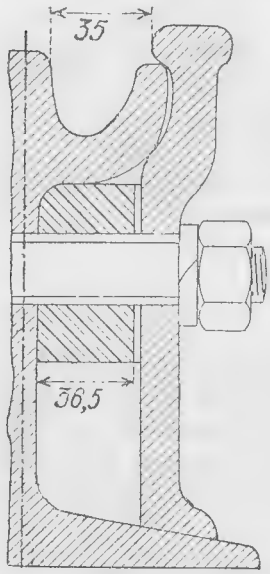
В профиле для кривых губка уширена на один мм. и желоб в соответствии с прямым профилем углублен на 6 мм. Исходя из вышеприведенных соотношений, можно предположить, что рельс для кривых не даст полного использования вертикального износа, так как допускаемый вертикальный износ увеличен на 6 мм., а боковой — от перемещения шейки и утолщения губки — на 4 мм.

Приведенные профиля следует рассматривать не как нормальные профиля для русских крупных трамваев, а лишь — как временные компромиссные профиля для Москвы и Ленинграда, выработанные под давлением срочных заказов новых рельсов при существующих условиях производства. В них ярко отразилась тенденция увеличить срок службы рельса и удовлетворить условиям работы рельсов на кривых больших радиусов. Во всяком случае, они представляют собой вполне продуманное решение поставленной задачи с учетом опытных данных и последних течений, установившихся в технике (см. черт. 61). В нижеприведенной таблице даны основные размеры профилей и соотношения частей его для последних нормальных профилей.

Для сравнения приведены 3 профиля: Ленинградского трамвая I-й и II-й очереди и последнего общего профиля для Ленинграда и Москвы, из которых ясно видна последовательность вносимых изменений.

	Ленинград I оч.	Ленинград II оч.	Ленинград—Москва 1924 г.
Высота H	180	180	180
Ширина подошвы B	170	170	170
Высота головки h	27	30	30
Ширина головки c	50	55	58
Ширина желоба c (пр./кривые)	30/30	32/42	32/42
Глубина желоба h_1 „	30/30	32/30	38/35,6
Толщина губки f	11/11	15/26	17/26
Толщина шейки K	11	11	11/13
Расстояние оси шейки от желоба n	10	15	18
Повышение губки η (пр./кривые)	$-3/-3$	$-3/+10$	$-4/+5$

Необходимо указать на те меры, которые могут быть приняты, чтобы избежать преждевременной смены рельсов по причине их боковых износов, что часто встречается на практике при укладке неподходящих к условиям работы профилей. На нижеприводимых чертежах показаны применяемые в таких случаях приставные контр-рельсы.

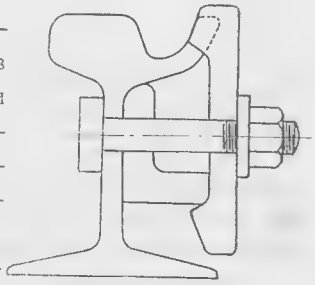


Черт. 62.

Приставной контр-рельс Ленинградского трамвая.

На черт. 62 изображен приставной специальный профиль, который был применен на линиях I-й очереди Ленинградского трамвая на кривых малых радиусов. Почти сразу после открытия движения было обнаружено несоответствие профиля рельса условиям работы на кривых, и указанной мерой удалось спасти рельсы от преждевременной смены.

На чертеже 63 представлен приставной профиль, применяемый в Англии. После сработки губка срезается кислородно-ацетиленовым прибором и заменяется приставным контр-рельсом.



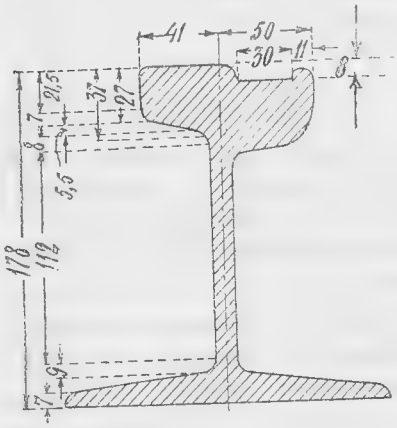
Черт. 63.

Приставной контр-рельс Английских трамваев.

Благодаря своему симметричному профилю приставной контр-рельс может быть перевернут после износа в верхней его части, чем увеличивается вдвое срок его службы. Как экстренная мера, при отсутствии специальных профилей, для этой же цели могут быть применены легкие профиля Виньоля

весом от 8 до 13 фунтов в футе, уже бывшие в употреблении на путях конных железных дорог.

В заключение упомянем о специальном профиле рельсов с повышенным желобом, который употребляется для укладки по наружной нитке кривых. Профиль этот представлен на черт. 64. Глубина желоба этого профиля равна 8 мм., и наружное колесо катится ребордой по дну желоба, благодаря чему диаметр поверхности катания увеличивается на величину двойной высоты реборды, т. е. для ходовых частей Ленинградского трамвая мы получим вместо $d = 800$ мм., новую величину $d_1 = 800 + 2h_3 = 836$ мм., где h_3 — высота реборды $= 18$ мм. Увеличение диаметра поверхности катания наружного колеса на кривых имеет значение, как средство уничтожающее трение скольжения наружного колеса вследствие удлинения его пути.



Черт. 64.

Рельс с повышенным желобом.

Теоретически должна иметь место такая зависимость:

$$\frac{d}{R} = \frac{d_1}{R+a},$$

где:

d — диаметр внутреннего колеса

d_1 — „ наружного „

R — радиус кривой по внутреннему рельсу

a — ширина колеи.

Для данного случая получим величину радиуса кривой:

$$R = \frac{ad}{d_1 - d} = \frac{1.524 \times 0{,}8}{0{,}036} = 34 \text{ м.},$$

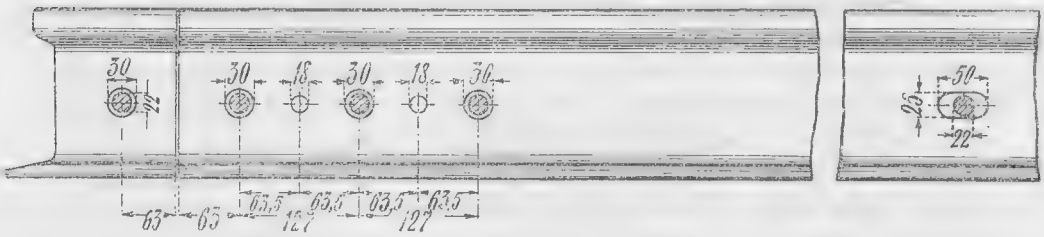
т. е. для кривой радиуса $R = 34$ м. явление скольжения будет уничтожено.

Обстоятельство это несомненно имеет влияние на износ бандажей и головок рельсов, но практика показала, что повышенный желоб и реборда быстро изнашиваются, и в конечном итоге, имея в виду значительный вес рельса, мера эта была признана не экономичной, и в настоящее время профиль этот вышел из употребления.

Заканчивая на этом главу о рельсах, упомянем о длине рельсов. Длина рельсов ранее принималась 15 м., а в настоящее время доведена до 18 м.; рельсы специальных профилей для кривых помимо нормальной длины имеют и меньшие размеры, от 12 до 18 м., с разницей в длине 1,00 м. Эти укороченные рельсы дают возможность при укладке их на кривых уменьшить количество рубок. При определении длины рельсов нужно иметь в виду, главным образом, условия производства работ и не

увлекаться чрезмерно уменьшением количества стыков, т. б., что при сварке стыка это уменьшение имеет лишь экономическое значение. Нельзя забывать, что вес рельса при длине в 18 м. для последних профилей достигает 58 пудов для прямых и 63 пудов для кривых, и каждый лишний метр прибавляет от $1^1/_2$ до 2 пудов веса. Опыт показывает, что при ручной укладке рельсов итти далее 18 (максимум — 20) метров нельзя и только при механизации работ можно допустить большие длины.

Рельсы должны быть снабжены отверстиями для болтов стыковых соединений, для постановки электрических соединений и поперечных тяг.



Черт. 65.

Размещение отверстий для болтов накладок, для электрических соединений и тяг.

Отверстия для болтов накладок имеют диаметр до 30 мм. и, в виду укладки стыков без зазоров, не должны превосходить диаметра болтов более, как на 5 мм. Они делаются обычно круглой формы и располагаются на расстоянии друг от друга в соответствии с накладками стыков.

Отверстия для электрических соединений делаются диаметром до 18 мм. Размещение отверстий в рельсе Ленинградского трамвая показано на схеме (черт. 65). Если стыки предполагаются сваренные, то на прямых рельсах не следует делать эти отверстия, так как они, ослабляя сечения, могут послужить причиной разрывов рельсов, а посему достаточно ограничиться изготовлением отверстий лишь в рельсах для кривых, где сварка не применяется. Что же касается небольшого сравнительно количества механических стыков на прямых участках, то для таковых отверстия могут быть просверлены на месте.

Отверстия для тяг имеют элиптическую форму и располагаются в расстоянии 1,00 м. от стыка и 2,00 м. друг от друга.

ГЛАВА III

Стыковые соединения и скрепления.

Специальные условия работы трамвайных путей отзываются на стыковых соединениях, главным образом, в двух направлениях: с одной стороны, невозможность постоянного осмотра и затруднительность и дороговизна ремонта, сопряженная с перемощением мостовой, вызвали применение наиболее совершенных конструкций, обеспечивающих продолжительную службу стыка без необходимости периодического ремонта; с другой стороны, возможность укладки рельсов без зазоров облегчала их устройство и дала возможность применения сваренных стыков, создающих сплошную рельсовую нитку.

Вообще говоря, стыковые соединения могут быть разделены на три основные группы:

I. — Стыки механического соединения.

II. — Стыки сплошные — сваренные.

III. — Стыки смешанного типа, с приваркой накладок.

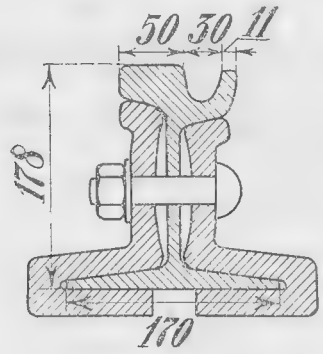
Стыки механического соединения.

Основной принцип соединения рельсов в стыке накладками остался в силе и для трамвайных путей. Стремление усилить стык получило осуществление в виде конструкции с добавочными частями, соединяющими подошвы рельсов.

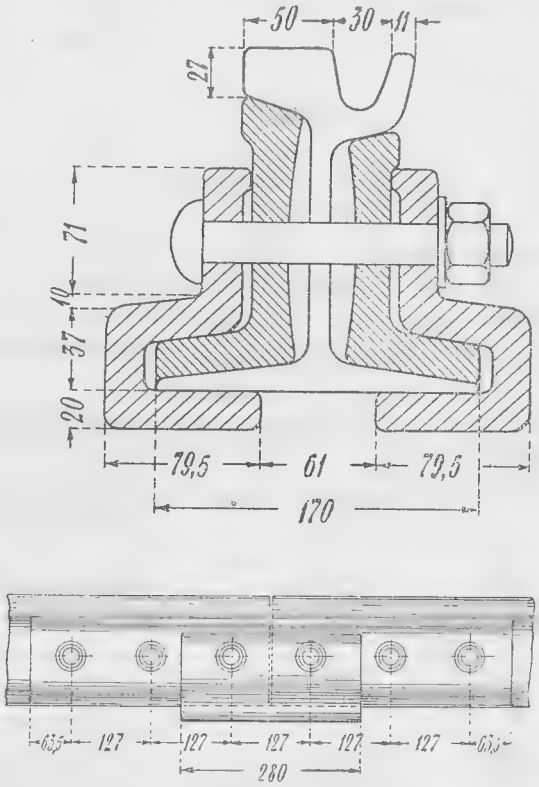
Первым по времени возникновения является стык с обхватывающими накладками, изображенный на черт. 66; стык этот требует весьма точной пригонки плоскостей накладок, прилегающих к соответствующим граням профиля рельса, а равно и точного выполнения размеров проектного профиля рельса. Незначительные отступления поведут к нарушению правильной работы накладок, прилегающих к рельсу в трех наклонных плоскостях. В виду этого стоимость стыка высока, а при наших условиях техники прокатки конструкция эта неосуществима.

В дальнейшем развитии появляется стык обхватывающих подошву ухватов (известный под фирмой Бохумер-Штосс), изображенный на черт. 67. Как видно из чертежа, цельность обхватывающих накладок нарушена, и мы имеем нормальные уголковые накладки и отдельные подошвенные ухваты. Недостаток цельных обхватывающих накладок,

прилегающих к рельсу одновременно по трем плоскостям, устранен; накладка и ухват работают независимо каждый по двум плоскостям, но зато нарушено единство работы и уменьшен момент сопротивления накладок. Состоящая из 4-х отдельных частей конструкция легче расстраивается и требует периодического ремонта. Стык этот применен на путях Ленинградского и Московского трамвая и удержался и в настоящее время на кривых участках (стыки на прямых сварены термитным способом); стоимость его сравнительно невысока, но результаты его службы далеко несовершенны. Отметим попутно, что оба



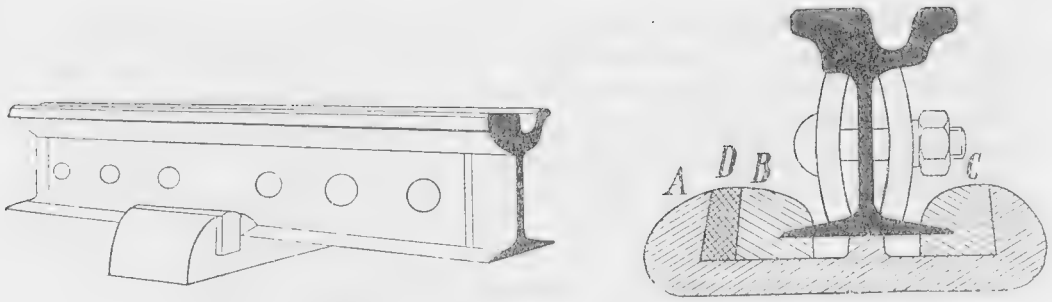
Черт. 66.
Стык с обхватывающими накладками.



Черт. 67.
Стык Бохумер-Штосс.

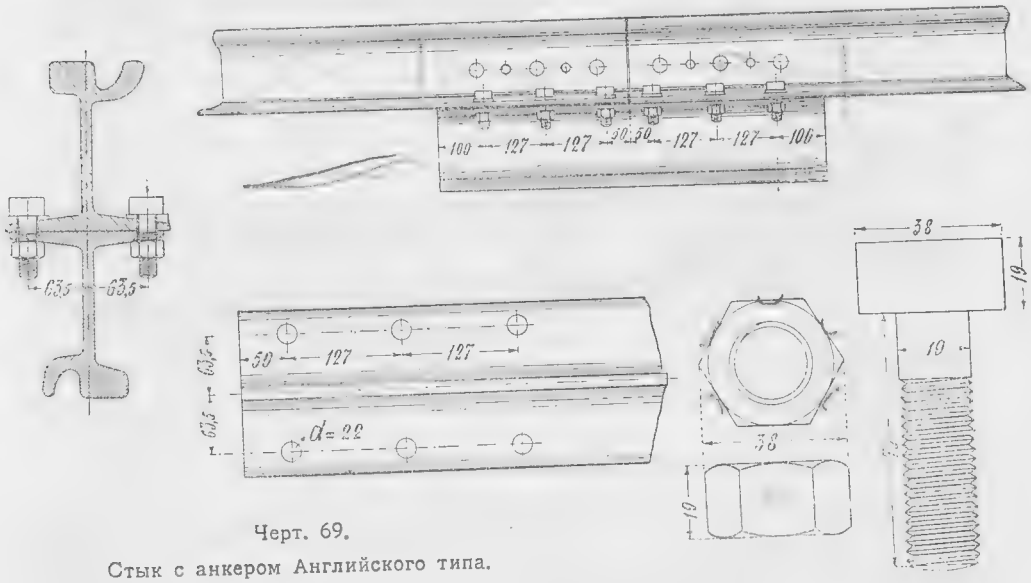
типа накладок соединены 6 болтами, а ухваты 2 болтами. Размещение дыр видно на чертеже.

Наилучшей конструкцией данного типа является стык Шейнинг-Гофмана, изображенный на чертеже 68. В данном стыке рельсы соединены двумя плоскими накладками, а подошвы особым башмаком. Башмак состоит из общей обоймы *A*, двух вкладышей *B* и *C*, соединяющих подошвы, и клина *D*, закрепляющего всю конструкцию в обойме. Вкладыши надеваются на подошвы рельсов в состоянии красного нагрева с цинковыми прокладками между ними и подошвами рельсов, и затем загоняется клин. Преимущества данной конструкции: 1) отсутствие болтов, которые неизбежно ослабевают от развинчивания гаек и требуют их постоянного подвинчивания, 2) непосредственное сжатие вкладышей клином, тогда как



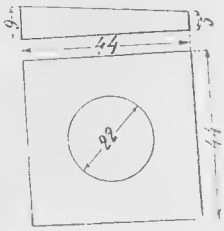
Черт. 68.
Стык Шейнинг-Гофмана.

в обоих первых случаях стягивающие болты настолько удалены от подошвы, что не могут гарантировать плотное зажатие ее. Стык этот применен в Вене и других городах Европы. Работает он хорошо, но стоимость его высока. Он гарантирует хорошую электропроводность.



Черт. 69.
Стык с анкером Английского типа.

Описанные три конструкции являются конструкциями Германского происхождения.



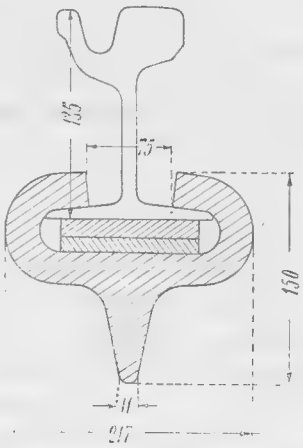
Дадим описание наиболее распространенного стыка в Англии. Стык (см. черт. 69 и 41) в виде двух плоских накладок усилен подошвенным анкером в виде куска рельса, соединенного подошвой с подошвами основных рельсов болтами или заклепками.

Длина накладок — 24"; они имеют шесть дыр квадратного сечения, в которые входят квадратные части бол-

тов, чем они удерживаются от вращения при завинчивании гаек. Гайки применяются особой конструкции с прорезами во избежание развинчивания. Расстояние между дырами 4″ и 2″ от края. Диаметр болтов $d = 1''$. Анкер скрепляется шестью заклепками, длина его равна длине накладок. Конструкция стыка проста, но при смене рельсов требует срезки заклепок, что при соответствующих приборах не встречает затруднений.

Применение болтов для скрепления анкеров вряд ли можно рекомендовать, т. к. они ослабевают, и работа анкера нарушается, но все-таки они употребляются и применены, например, в Ленинграде. Лучшие результаты дает закрепление заклепками.

К этому последнему типу относится стык Амберт (черт. 70), применяемый во Франции. Конструкция его проста, но затрудняет расположение накладок, на что нужно обратить внимание при конструктировании подошвенного ухвата. Стыки с анкерами представляют собой стыки жесткие, что, вообще говоря, в данном случае имеет мало значения вследствие общей жесткости трамвайного пути.



Черт. 70.
Стык Амберт.

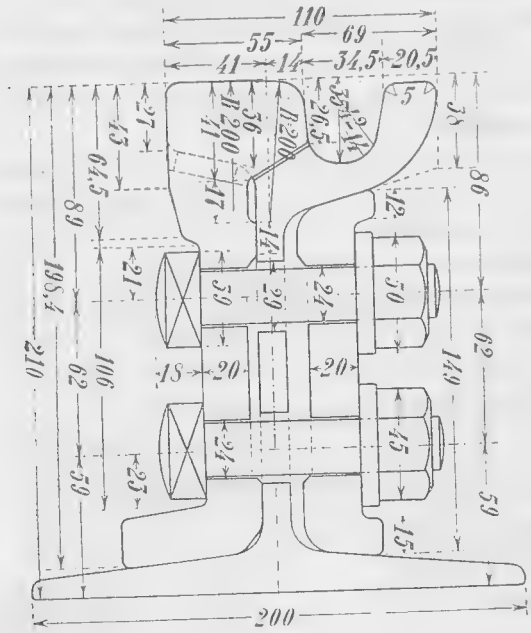
Особый вид представляет собой стык Мелауна (черт. 71). Он основан на том принципе, который позволяет избежать сплошного разрыва рельса в стыке. С этой целью в концах рельса срезается головка на протяжении от стыка до середины расстояния между крайними болтами, как показано на чертеже. На этом протяжении головка заменяется соответственной частью наружной накладки. Таким образом, в стыке мы имеем разрыв только шейки и подошвы, а в точках „a“ и „b“ разрывы головки. Стык сохраняет эластичность, свойственную вообще стыкам без анкеров при значительном увеличении его момента сопротивления. Для хорошей работы стыка требуется точная пригонка его частей. Необходимо иметь в виду, что давление, воспринимаемое верхней частью накладки, заменяющей собой головку рельса, должно быть передано на подошву посредством нижней уширенной части головки, и посему в месте прикосновения накладки к шейке рельса должен быть оставлен зазор. Стык этот применяется в Вене и Германии; работает он хорошо при точной пригонке частей. К числу недостатков его нужно отнести два места разрыва в головке, в точках a и b.

Помимо описанных имеется большое разнообразие конструкций, не имеющих существенных отличий. Главное, на что необходимо обращать особое внимание, может быть формулировано в следующем:

1) Насколько возможно большие плоскости соприкосновения рабочих плоскостей накладок с соответственными частями рельса; в этом отно-

шении уширенная головка Американского рельса имеет несомненные преимущества.

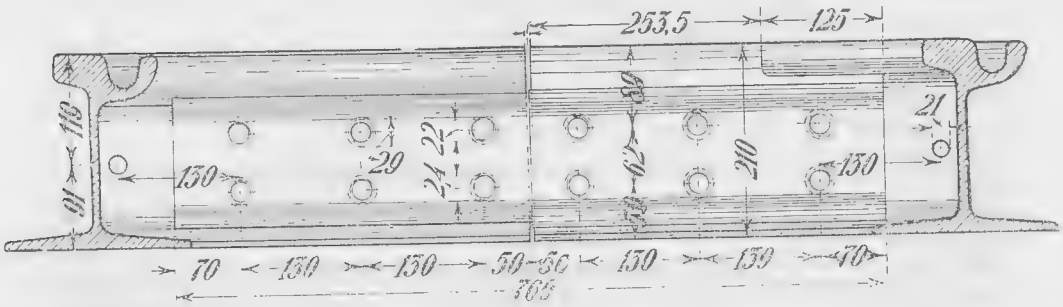
2) Плотное натяжение накладок болтами, что обеспечивается соответственным сечением болтов (диаметр болтов не следует брать менее $1'' = 25$ мм.).



3) Приняты ли меры против развинчивания гаек и насколько они рациональны. Хорошие результаты дают шайбы Гровера и патентованные английскиегайки.

4) Достаточной-ли мощности накладки; желательно для уголковых накладок, чтобы момент сопротивления двух накладок был не менее 0,7 от момента сопротивления рельса.

5) Для подошвенных ухватов и анкеров имеет значение простота конструкции и для подошвенных обхватывающих подушек — насколько плотно сжимают они подошвы рельсов, и в какой мере гарантирована неизменяемость их положения.



(вид со стороны губки) Черт. 71. (вид со стороны головки)

Стык Мелауна.

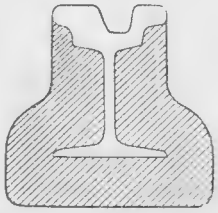
6) Вообще говоря, необходимо уяснить, насколько данная конструкция отвечает основному требованию: обеспечить соединенные рельсы от вертикальных и горизонтальных перемещений относительно друг друга, и насколько гарантирована прочность соединения без частого ремонта.

В настоящее время стыки механического соединения выходят из употребления на прямых участках и на кривых большого радиуса $R \geqq 60{,}00$ м. трамвайных линий больших городов и заменяются сваркой рельсов. Там, где пути могут укладываться без зазора и где срок службы рельса продолжителен, сварка рельсов несомненно рациональна. Лишь на кривых малых радиусов, где рельсы быстро изнашиваются и требуют частой смены, и где, в силу большой кривизны рельсов, отсутствие зазоров может повести к продольному изгибу рельсов и нарушению правильности направления в плане, — стыки механического соединения остались в силе и применяются повсеместно. Для этих случаев Английский тип с анкером из рельсов и тип Шейнинга-Гофмана должны быть признаны наилучшими.

Что касается пригородных железных дорог, где условия работы пути не имеют специальных особенностей и сходны с условиями железных дорог нормального типа, то там применяются нормальные железнодорожные шестидырные накладки козырькового типа. Необходимо отметить, что расстояние между внутренними гранями накладок и шейкой рельса должно быть не менее 10 мм. для возможности размещения стыковых электрических соединений.

Сваренные сплошные стыки.

Вопрос о сварке рельсов возник уже давно и впервые способ этот был применен в Америке, в 1894 году, под названием стыка Фалька Способ этот заключается в обливке соединяемых рельсов расплавленным чугуном в особых формах и в плотном зажатии их после остывания чугуна, происходящем в силу его усадки.



Черт. 72.
Стык Фалька.

Таким образом, ни сплавления, ни сварки соединяемых рельсов здесь не получается, и стык держится лишь трением поверхности рельса о зажимающую его чугунную отливку. На черт. 72 представлен поперечный разрез стыка. На практике стык не оправдал себя: при понижении температуры рельсы расходились и образовывались зазоры в несколько сантиметров, а иногда, в местах разрывов, и больше.

В настоящее время стык этот совершенно вышел из употребления и встречается на старых линиях некоторых трамваев, где еще не было сплошной смены рельсов. В дальнейшем идея о сплошном стыке получила развитие в виде непосредственной сварки или сплавления металла рельсов, причем для получения соответствующей температуры применялось нагревание кислородо-ацетиленовыми приборами, электрическим током посредством вольтовой дуги и горением термитно-алюминиевой смеси.

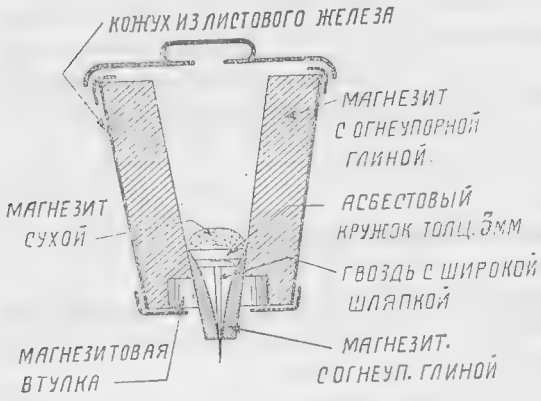
Термитная сварка рельсов.

Способ этот дал столь блестящие результаты, что можно без преувеличения сказать, что в настоящее время в трамвайных путях стыков не существует. Процесс сварки заключается в следующем.

Концы соединяемых рельсов очищаются от ржавчины до состояния полной чистоты не только в торцах, но и в боковых поверхностях профиля на протяжении около 2″ от стыка.

Кроме того, торцы рельсов должны быть точно отделаны по наугольнику под плоскость для полного контакта соединяемых рельсов.

Затем, рельсы точно укладываются и выравниваются, как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении, причем концы их приподымаются на величину около 1 мм. на протяжении 150 мм. от стыка. Устанавливается стягивающий прибор, и торцы рельс фрезеруются до блеска особым прибором; над рельсами устанавливается тигель в виде воронки (см. ч. 73) и весь стык заключается в форму заранее изготовленную из смеси глины с песком. Воронка наполняется термитной смесью и зажигается при помощи особого запала. Происходит бурный процесс плавления термитной массы и после того, как поверхность расплавленной массы перестает бурлить (признак того, что железо осело вниз, а шлаки всплыли наверх), она выливается в нижнюю форму; по прошествии 4 — 3 минут рельсы сдавливаются стягивающим прибором, и стык остывает в продолжении 10 — 15 мин.



Черт. 73.

Тигель, употребляемый при термитной сварке.

После остывания стыка стягивающий прибор и формы удаляются, а по прошествии получаса шлаки отбиваются от стыка, и верхняя часть головки обрабатывается напильником, имеющим форму рубанка, под правильную поверхность соответственно профилю рельса.

Термитная смесь состоит из термита и добавок. Собственно термит представляет собой смесь окиси железа Fe_3O_4, металла алюминия в порошке Al и железных обсечек в такой пропорции, чтобы получить в результате реакции горения чистое железо и алюминиевый шлак. Кроме того, в целях полной нейтрализации окиси железа, добавляется металлический силиций, ферро-силиций, металлический марганец и ферро-марга-

нец; все эти металлы, гарантируя полное поглощение кислорода, в то же время не представляют собой вредных примесей к железу, а напротив улучшают его качество.

На 1 порцию термитной смеси полагают по весу:

18 ф. окиси железа	10 зол. ферро-силиция
4,75 ф. алюминия	5 „ марганца
1,5 ф. жел. обсечек	15 „ ферро-марганца
3 зол. силиция.	

Состав запала:

Перекиси бария	80 вес. частей
Алюминиевой пудры . .	18 „ „
Магния в порошке . . .	2 „ „

При нагревании получаются алюминевые и иные шлаки и чистое расплавленное железо. В силу большего удельного веса железо еще в тигле скопляется в нижней его части, а шлаки в верхней части. То же распределение остается и в форме. Благодаря этому подошва и шейка рельса до $^2/_3$ ее высоты сплавляются с железом термитной смеси, а головки, где температура ниже, свариваются при сдавливании рельсов стягивающим прибором.

В начале применения термитной сварки стыков были случаи разрывов. Но количество разрывов уже в 1910 — 1912 гг. не превосходило в среднем $3^0/_0$ от общего количества сваренных стыков, в настоящее время оно не свыше $0{,}5^0/_0$.

Стык этот получил широкое распространение в Америке и Европе; в России он впервые введен при постройке линий 2-ой очереди Ленинградского трамвая в 1912 г. и затем был принят в Москве и несомненно распространится в других трамваях, тем более, что первоначальная высокая его стоимость значительно понизилась после окончания патента.

Первоначальные неудачи в виде разрыва рельсов у места сварки, которые ранее относились к несовершенству самого метода, в настоящее время устранены, причем целым рядом опытных наблюдений установлено, что причина разрывов кроется в неумелом или небрежном производстве работ.

К числу основных причин разрывов относят:

1) Значительную разницу температур между металлом свариваемых рельсов и расплавленной массой термита, в результате получается ряд пустот в местах сплавляемых частей рельсов, которые не успевают заполниться быстро остывшей сталью термита;

2) Наличие отверстий для болтов в концах рельсов.

3) Недостаточную очистку концов свариваемых рельсов.

Правильность двух первых положений подтверждается между прочим тем, что обычно разрыв наблюдается не в месте стыка, а около него вне сварки.

Английский инженер Гольт дает следующие правила производства работ по сварке, точное исполнение которых гарантирует полное совершенство стыка:

1) Свариваемые рельсы не должны иметь болтовых отверстий, а лишь по одному отверстию для стягивающего прибора в расстоянии не ближе 6″ от стыка.

2) Концы рельсов за исключением головок должны быть срезаны на $^1/_{16}$″, чтобы обеспечить полную сварку головок после сжатия приборами.

3) До сварки рельсы должны быть точно уложены и выправлены, как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении, причем оба конца свариваемых рельсов на протяжении 6″ от стыка должны быть приподняты на $^1/_{32}$″. Условие это очень важно, так как выправка направления после сварки затруднительна и может повести к поломке стыка.

4) До окончательной выправки направления рельсов торцы рельсов должны быть очищены особым фрезерным диском до-светла, очищены от ржавчины и грязи на протяжении не менее 2″ от стыка в пределах сварки.

5) После окончательной выправки концы рельсов должны быть нагреты сильной паяльной лампой до температуры красного каления и очищены металлической щеткой, в особенности это касается подошв, которые нельзя осмотреть.

6) При установке форм необходимо обращать внимание на то, чтобы к внутренней их поверхности не пристало сырых частиц грунта, так как при соприкосновении расплавленного металла с влажной частицей грунта произойдет бурная реакция со взрывом внутри формы, металл начнет кипеть и может подняться в верхнюю часть формы и сплавить головку рельса, повреждая ее и, во всяком случае, производя пористую отливку, в которой шлак и сталь смешаны вместе.

7) Установка формы должна быть произведена вполне точно, чтобы части форм во всех местах точно и плотно прилегали друг к другу, а равно и к шейке рельса в центре.

8) Формы до установки их должны быть прогреты паяльной лампой до полной сухости. Изготовляются они из смеси крупнозернистого кварцевого песка и жирной глины. До просушки в них должны быть сделаны мелкие отверстия; они облегчают просушку форм в печах и служат для выхода газов во время процесса сварки, в противном случае может получиться пористая сварка.

9) При сварке необходимо точно установить тигель над воронкой формы, на расстоянии 4 — 5″ над ней. Один тигель в среднем может обслужить до 20 сварок, причем выпускная трубка (штепсель) должна меняться через каждые 5 выпусков.

10) Термитная смесь должна быть хорошо перемешена рукой раньше, чем ее всыпать в тигель, чтобы получить полную реакцию.

11) После зажигания смеси необходимо выждать, чтобы расплавленное железо скопилось в нижней части тигля, и тогда уже выпустить плавку в форму.

12) Чтобы получить полную сварку головок, необходимо прогреть головки рельсов до температуры сварки, поэтому после выпуска плавки в форму нужно выждать не менее 3 — 4 минут и тогда уже одним полным поворотом гайки сжимающего прибора сжать рельсы для сварки их.

13) После сжатия рельсов стык оставляется не менее, как на 15 минут, для его остывания с оставлением стягивающего прибора и неотбитых шлаков, чтобы не повредить еще неокрепшую сварку от сокращения металла.

14) После остывания стыка стягивающий прибор и формы снимаются, шлаки отбиваются ломом и головка выравнивается напильником, имеющим форму рубанка, до совпадения с поверхностью прилегающих к стыку рельсов.

Инженер Гольт полагает, что при точном соблюдении перечисленных условий гарантируется полное совершенство сварки, причем отмечает, что при улучшении качества стали и некотором незначительном изменении рельса в смысле утолщения шейки можно получить еще лучшие результаты.

Высказанные здесь положения полностью сходятся с практикой сварки стыков Ленинградского трамвая, где в настоящее время сварка производится в больших размерах хозяйственным способом.

В последнее время предложено некоторое изменение процесса для тяжелых профилей рельсов из твердой углеродистой стали. Изменение заключается в том, что до сварки между головками рельсов прокладывается тонкая пластинка (толщиной $^3/_4$ мм.) из мягкой стали покрытой слоем меди, причем происходит сплавление головок без сжатия прибором.

Необходимо отметить, что при сварке рельсов на кривых они должны быть согнуты до сварки, так как изгиб прессом может повредить стык.

Заканчивая на этом описание термитного способа сварки рельсов, отметим, что способ этот в настоящее время принят во всех трамваях всего мира, нак наилучший. У нас в России мы имеем уже более, чем 10-тилетний опыт на путях ленинградского трамвая, где в настоящее время процент разрывов не превосходит 0,3 — 0,5$^0/_0$. В начале его применения, при обследовании мной в 1910 году данного вопроса на Европейских трамваях, там число разрывов достигало 3$^0/_0$. Уменьшение процента разрывов нужно отнести к умелому аккуратному производству работ, значение которого отмечается и Гольтом.

На прилагаемых фотографиях I — VIII изображен постепенный ход работ по сварке.

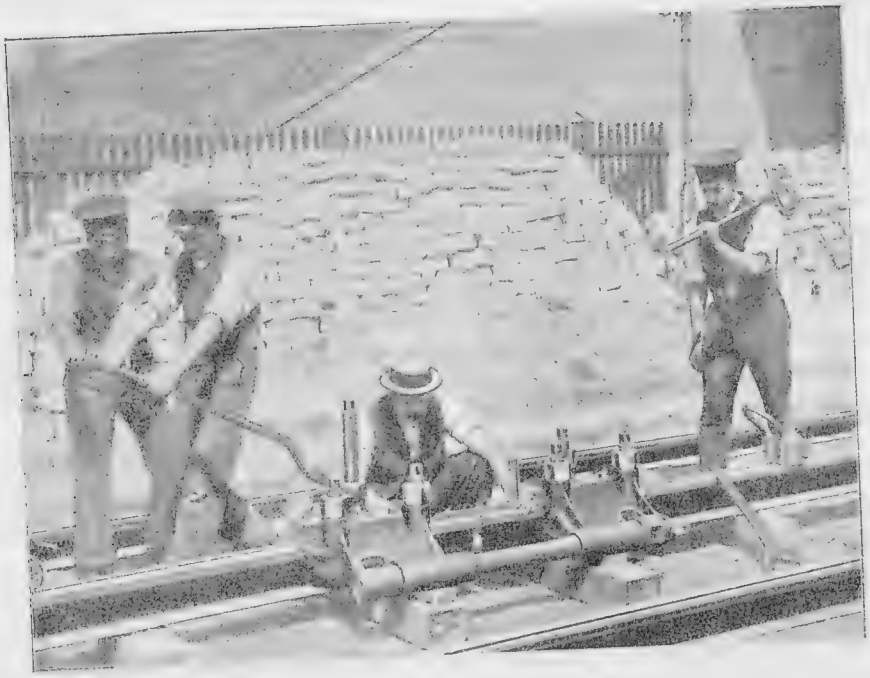


Рис. 1.

Сжимающий аппарат установлен; концы рельсов выравниваются при помощи наугольника в одну плоскость.

На рисунке 1 представлен первый момент по подготовке стыка для сварки.

Рельсы уложены на шпалах и выравнены в вертикальном направлении. Мастер окончательно выравнивает стык по линейке для полного совпадения рабочих кантов головок рельса; незначительная передвижка рельсов производится двумя рабочими посредством рычага.

Стягивающий прибор установлен так, что между торцами рельсов оставлен зазор для производства фрезеровки.

Рельсы подклинены на стыковых шпалах, чтобы поднять концы их на 1 мм.

Третий рабочий подносит прибор для фрезеровки торцов рельсов.

Стягивающий прибор состоит из двух массивных захватов, соединенных друг с другом при помощи двух безконечных винтов; поворотом винтов захваты сближаются и тянут за собой рельсовые звенья, плотно прижимая после фрезеровки торец к торцу.

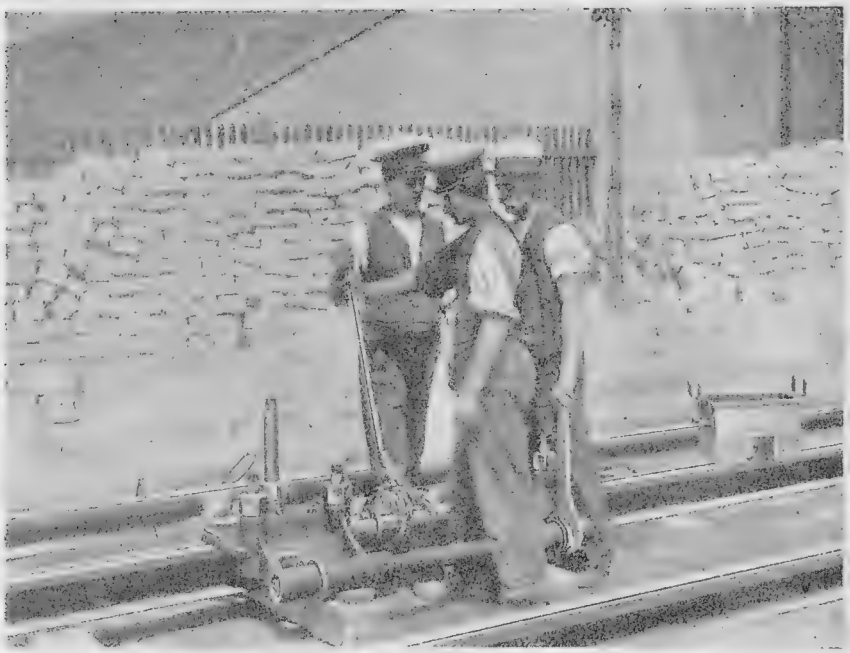


Рис. 2.

Торцы рельсов фрезеруются особым прибором.

На этом рисунке представлен процесс фрезеровки торцов рельсов.

Дисковый фрезер вращается на оси, проходящей через отверстие в центре круга; ось в виде металлического стержня цилиндрической формы лежит в желобе рельсов и удерживается в нем двумя железными скобами.

Вращение фрезера производится посредством трещетки с длинной ручкой двумя рабочими; третий рабочий вращает бесконечный винт стягивающего прибора, чем зажимается фрезер между головками рельсов.

Фрезеруются, следовательно, лишь торцы головок, шейка же и подошва срезаются, как было указано в тексте, на 1 мм.

Вслед за фрезеровкой концы рельсов очищаются металлическими щетками от грязи и ржавчины и сближаются до соприкосновения головок натяжением прибора.

Рис. 3.

Рельсы стянуты аппаратом; устанавливаются опоки из листового железа.

Рисунок 3 представляет момент установки форм для сварки.

Железный кожух уже надет на концы рельсов, иногда им пользуются, как жаровней для предварительного нагревания рельсов. Для чего кожух наполняется горящими углями и их раздувают ручным мехом.

На рисунке видны и приготовленные шамотовые формы для заполнения расплавленным термитом. Формы вставляются в кожух и точно пригоняются к профилю рельсов; чтобы не было прозоров, они стягиваются железными скобами.

На рисунке скобы держит один из рабочих. Формы, как и рельсы, должны быть прогреты для удаления влаги и очищены от грязи.

Плотная пригонка формы к профилям рельсов—одно из необходимых условий хорошей сварки.

Рис. 4.

Тигель установлен; производится засыпка „термитной смеси".

После установки и прогревания форм и рельсов они обмазываются снаружи жидкой глиной с песком, и устанавливается тигель для термитной смеси.

Тигель имеет коническую форму в виде воронки и состоит из железного кожуха, покрытого внутри футеровкой из магнезита и огнеупорной глины.

Тигель укреплен в железной раме, вращающейся на вертикальной оси, прикрепленной к стягивающему аппарату.

Вращением рамы и передвижкой в ней самого тигля последний точно устанавливается над отверстием формы в расстоянии 4″ от нея по высоте.

На рисунке представлен момент засыпки термитной смеси.

Наклонная доска служит для поднятия гвоздя с широкой шляпкой, который показан на черт. 73, представляющем разрез тигля.

Через открывшееся при этом отверстие расплавленный термит выливается в форму.

Рис. 5.

Смесь зажжена. Происходит бурная реакция плавления.

На рисунке 5 представлен момент после зажигания термитной смеси в тигле.

Термитная смесь плавится при сильном кипении, выбрасывая частицы расплавленного металла.

По прекращении кипения, когда расплавленное железо осядет в нижнюю часть тигля, а шлаки всплывут наверх, расплавленную смесь выливают в форму и выжидают около 4 мин., чтобы рельсы прогрелись до надлежащей температуры, гарантируя доброкачественную сварку головок и сплавление шеек и подошв рельсов.

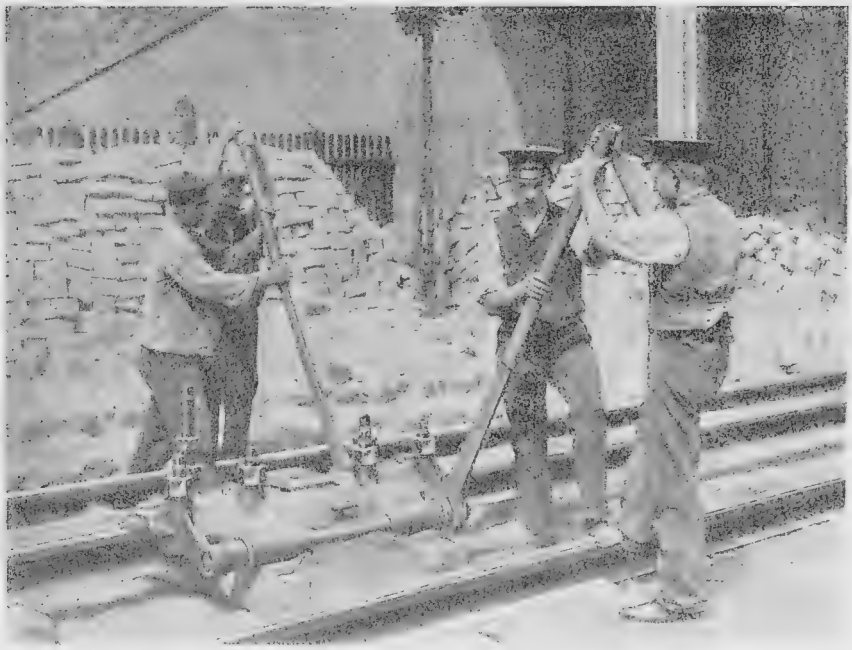


Рис. 6.

Расплавленная масса вылита в опоки. Тигель снят. Происходит сжимание аппарата.

Рисунок 6 иллюстрирует стягивание прибора поворотом одновременно обоих винтов посредством длинных ключей.

Обычно стягивание производится одним поворотом закрепленных на винте гаек четырьмя рабочими.

Затем дают стыку остыть в течение около 15 минут, не снимая стягивающего прибора.

Обстоятельство это имеет важное значение, т. к. прибор, покрытый песком, способствует равномерному охлаждению и препятствует сокращению рельсов, что повело бы к нарушению прочности сварки.

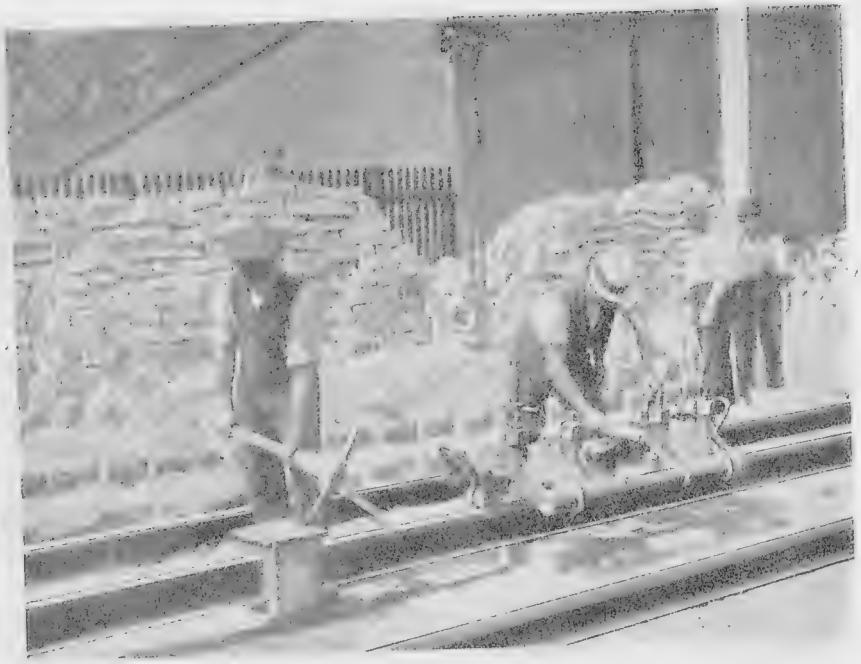


Рис. 7.

Стык остыл; сжимающий аппарат отодвинут. Производится отбивка формы.

Рисунок 7 представляет следующий момент.

Прибор ослаблен, разъединен от рельсов и отодвинут от стыка в сторону на роликах, посредством которых он катится по головке рельса.

Обсыпка стыка удалена.

Рабочий посредством кирки снимает форму и затем той же киркой отбивает шлаки от стыка.

В нижней части рельса сплавленные шейки и подошвы окружены железом термита.

В дальнейшем производится окончательная отделка стыка напильником, представляющим из себя форму рубанка для двух рабочих.

Ровность отделки поверяется точной линейкой.

Сглаживание стыка представлено на рисунке 8.

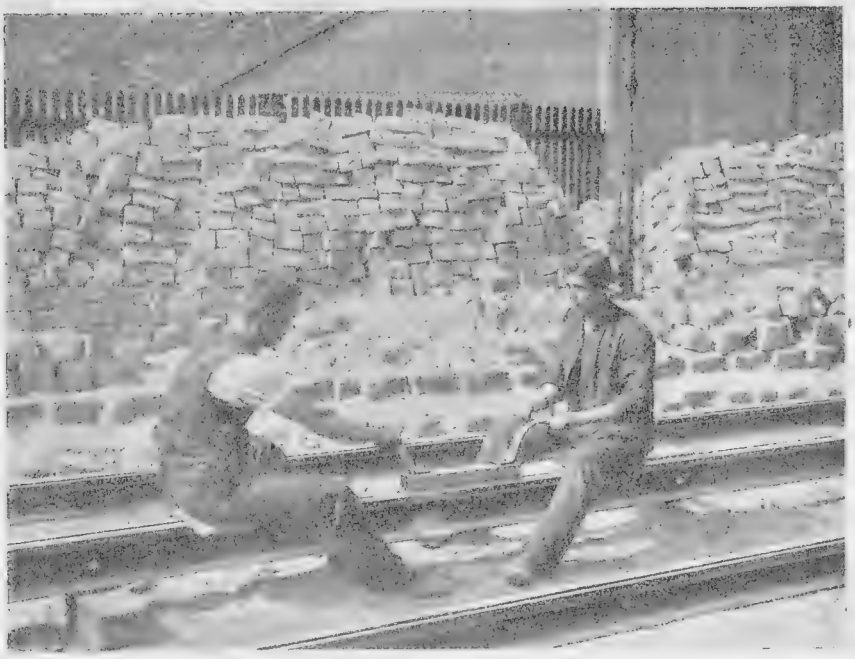


Рис. 8.
Сварка закончена... Стык состругивается и шлифуется.

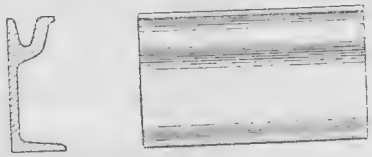
На данной фотографии изображено окончательное сглаживание стыка после сварки при помощи на пильника, имеющего форму рубанка.

Следующие рисунки демонстрируют изготовление моделей. Берут два куска свариваемых рельса длинной по 30 см. и сострагивают настолько, чтобы получить две полевинки, как указан на черт. 74, при чем толщина

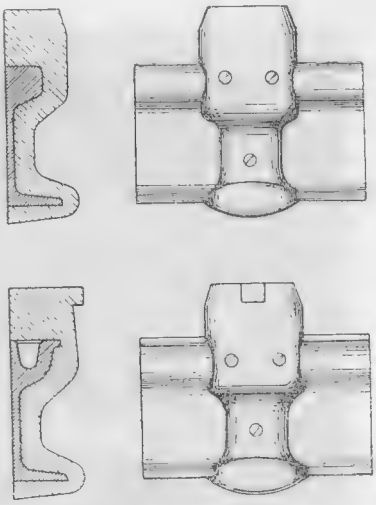
шейки каждой половинки равна половине толщины шейки $+ \frac{1}{2}$ мм. По середине каждой половины прикрепляется утолщение соответственно профилю рельса, как показано на черт. 75. К изготовленной модели приставляют опоки из листового железа толщиной $\frac{2}{3}$ мм., хорошо прилегающие к профилю рельса (черт. 76); заполняют опоку песком с глиной и утрамбовывают формовочным молотком.

На черт. 77 представлена печь для просушки форм, она представляет собой ящик из листового железа 2 мм. толщиной, разделенный на этажи; отапливается печь коксом. Формы обмазывают графитом и сушат два — три часа при температуре 200 — 300° Ц.

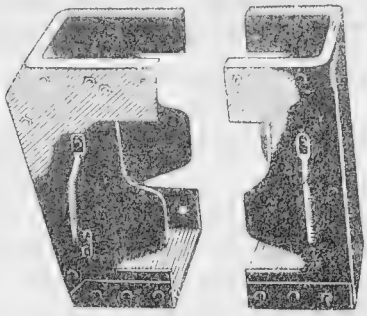
Как уже указано выше, в настоящее время удалось достигнуть полного совершенства сварки, причем и в экономическом отношении термитный способ дает самый выгодный стык. Дальнейшее усовершенствование направлено в сторону упрощения производства работ и, следовательно, их даль-



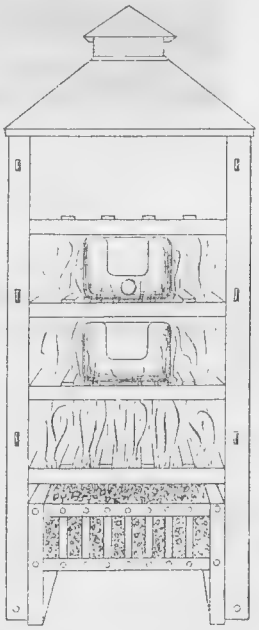
Черт. 74.
Соструганный кусок рельса для модели.



Черт. 75.
Деталь изготовления модели.



Чорт. 76.
Опоки из листового железа.



Черт. 77.
Печь для просушки форм.

нейшего удешевления. Введение омедненной железной пластинки устраняет необходимость сжатия стыка, заменяя процесс сварки головок процессом сплавления их с чистым мягким металлом пластинки.

Вначале опасались влияния высокой температуры плавления стали на металл головок рельс, предполагая изменение структуры стали и понижения ее сопротивляемости. На этом основании и применялось сплавление металлов в частях подошвы и шейки и сварка головок. Опыт применения вставных пластинок из мягкого безуглеродистого железа показал, что сталь не изменяет своих качеств.

Американские трамваи идут в этом вопросе дальше, сплавляя рельсы по всему профилю без вставки пластинок, но применяя предварительное нагревание рельсов и уменьшая количество железа, окружающее рельс, производя сплав без шлаков и выпуская их из тигля наружу.

Дальнейший опыт покажет, насколько новый способ сварки стыка (без участия шлаков) сплавлением рельсов по всему сечению даст больший эффект в техническом и экономическом отношении.

Во всяком случае, необходимо не упускать из вида, что недостаточно только прочно сварить стык, но нужно получить в месте сварки сталь однородную со сталью всего рельса, в противном случае получится выбоина в головке, и вместо механического разрыва в плоскости катания, мы получим разрыв металлургический — как бы вставку в головке рельса из мягкой стали. Однородность стали на протяжении всей линии рельсов — обстоятельство не менее важное, чем отсутствие механических зазоров.

Стыки смешанной конструкции.

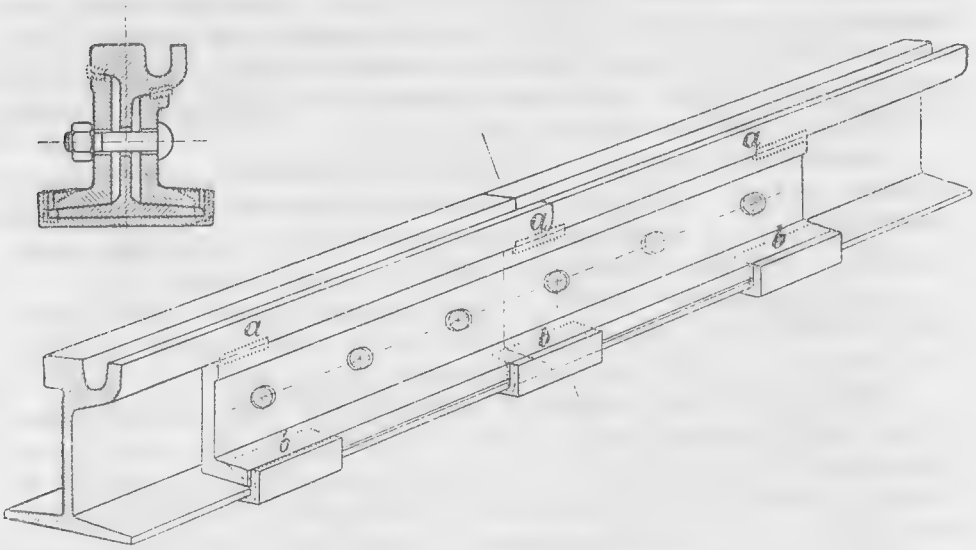
Эти стыки занимают промежуточное место между двумя описанными группами; в них мы имеем те же накладки или анкера, которые вместо скрепления болтами или заклепками непосредственно привариваются к подошве и головке рельса.

На черт. 78 — I представлен такой стык, применяемый в Берлине. Накладки плотно стягиваются болтами и в 3-х местах, обозначенных на чертеже буквами *a* и *b*, привариваются к головке и подошве рельса, причем для лучшей сварки добавляются 3 подошвенных коробки в точках *b*. Этим способом устраняется влияние ослабления болтов, и их значение ограничивается лишь стягиванием накладок до приварки их. Остальные недостатки стыка остаются в полной силе.

На чертеже 78 — II представлен пустотелый анкер, привариваемый к подошве рельсов; конструкция эта применяется во Франции и, по отзывам, дает хорошие результаты.

Процесс сварки может быть произведен электрическим током или ацетилено-кислородным прибором. В Берлине для сварки применяется электрический ток, во Франции отдают предпочтение ацетилену.

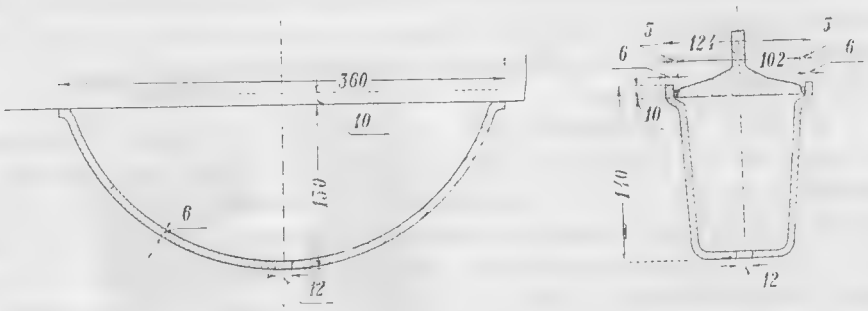
При выборе того или иного способа основой будут служить экономические соображения. Способ электрической сварки требует специального оборудования в виде трансформатора, помещенного в специальном вагоне;



Черт. 78—I.

Стык смешанной конструкции, применяемый в Берлине.

первичный ток получается из рабочего провода и трансформируется в 60 вольт напряжения. Стоимость оборудования высока и может окупиться лишь в случае применения сварки в больших размерах для дру-



Черт. 78—II.

Пустотелый анкер, привариваемый к подошве рельса.

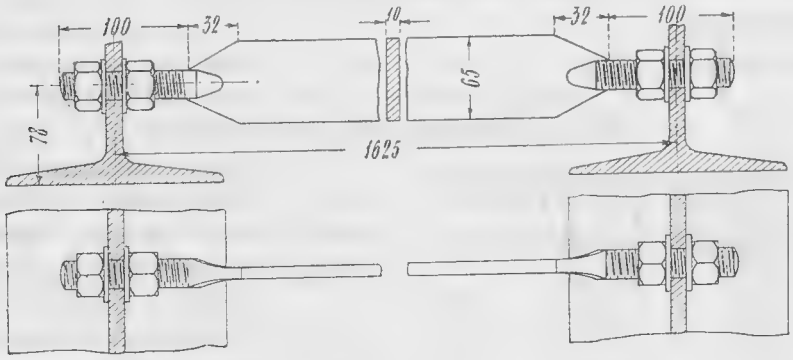
гих целей, как, например, при ремонте выбитых крестовин и стрелок из литой стали. В противном случае более выгоден ацетиленовый способ, где нет первоначальных затрат на оборудование, а играет роль лишь текущий расход на потребление газа.

Вообще говоря, стыки смешанные имели значение лишь в период первоначальных опытов по сварке рельсов термитом и в настоящее время, когда термитная сварка принята всеми, они уже потеряли смысл. Можно говорить лишь о сварке рельсов электрическим током вместо термитной смеси; пока этот последний способ находится в периоде опытов и применяется лишь для наплавления стали на выбитые крестовины и стрелки, о чем скажем в отделе ремонтных работ.

Тяги, костыли, шурупы и подкладки.

На всех путях, где таковые замощены, рельсы соединяются поперечными тягами из плоского железа, поставленными на ребро. Тяги применяются независимо от рода основания и при шпалах. Назначение их — предохранить рельс от опрокидывания при замощении, а при отсутствии шпал и от поперечных перемещений. На прямых участках тяги размещаются в расстоянии 2,00 м. друг от друга, а у стыка сближается до 1 м. На кривых расстояние между тягами берется до 1,50 м., причем можно руководствоваться следующей таблицей.

При радиусе	$R = 50$	м.	число	тяг	увеличивается	на	10%
„ „	$= 40$	„	„	„	„	„	25%
„ „	$= 30$	„	„	„	„	„	50%
„ „	$= 25$	„	„	„	„	„	75%
„ „	≤ 20	„	„	„	„	„	100%

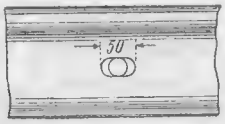


Черт. 79.

Тяга Английского образца.

Есть два типа тяг. На чертеже 79 представлена тяга Английского образца; тяга на концах делается круглой, снабжена нарезкой и скрепляется с шейкой рельса двумя гайками с шайбами, что дает возможность точно установить надлежащую ширину колеи.

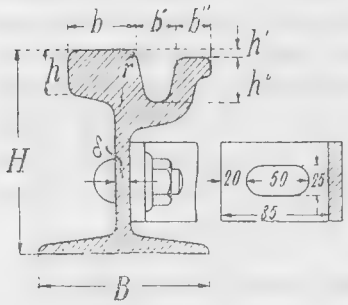
Отверстия в рельсе делаются овальные для возможности установить тягу точно перпендикулярно к рельсу (черт. 80).



Черт. 80.

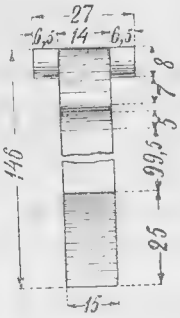
Отверстие в рельсе для тяг.

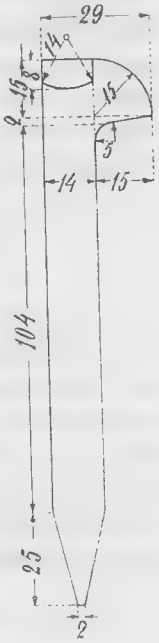
Другой тип тяги с загнутыми уголком концами представлен на черт. 81. Тяги эти скрепляются с шейкой рельса болтами, и для изменения длины тяги имеются тонкие (в 1 мм., прокладки).



Черт. 81.

Тяга уголкового типа.

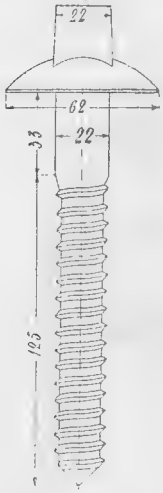




Черт. 82.

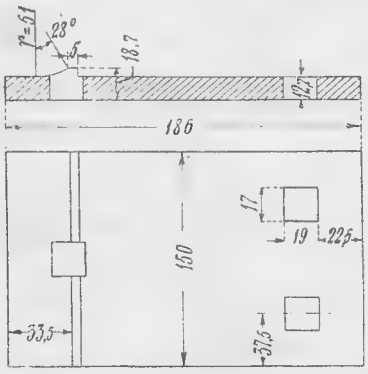
Костыль Ленинградского трамвая.

В этом случае отверстия в рельсах делаются круглые, а в тягах овальные. Диаметры болтов и концов в тягах 1-го типа = 25 мм., диаметр отверстий на $^2/_3$ мм. больше.



Черт. 83.

Шуруп.



Черт. 84.

Подкладки.

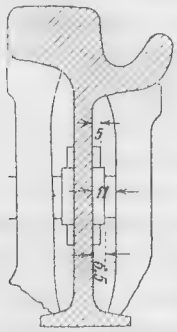
Костыли и шурупы, применяемые при укладке рельс на шпалах, ничем не отличаются от нормальных железнодорожных. На ч. 82 представлен промежуточный костыль Ленинградского трамвая, на черт. 83— шуруп. Длина стыкового костыля на 14 мм. больше промежуточного, а длина костыля, вообще, на 21 мм. меньше толщины шпалы.

Подкладки в трамвайных укладках не применяются, так как вертикальные нагрузки малы; их можно встретить лишь при укладках путей пригородных железных дорог, причем, в большинстве случаев, подкладки применяются плоские, так как бандажи

цилиндрические и подуклонки рельсов нет; они ничем не отличаются от нормальных железнодорожных, и, как пример, можно привести подкладку Сибирской железной дороги для рельс весом 24 ф/ф (см. черт. 84).

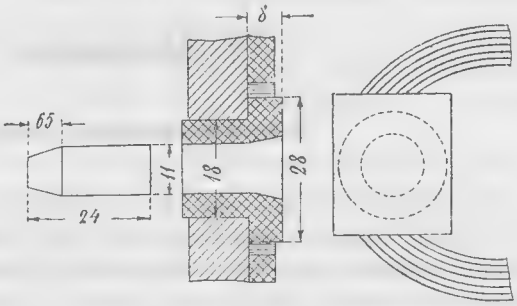
Электрические соединения.

Для сохранения электропроводности стыка во всех случаях, за исключением сваренных стыков, устанавливаются так наз. электрические соединения.



Черт. 85.

Стыковые электр. соединения.



Черт. 86.

Стыковые электр. соединения.

На черт. 85 и 86 изображен тип стыкового электрического соединения, примененный в Ленинградском трамвае.

Ряд тонких луженых медных полос соединен в наконечник, который вставляется в отверстие в шейке рельса и посредством штифта расклепывается, плотно прижимаясь к стали рельса.

Отверстия в рельсе $d = 18$ мм. просверливаются между болтовыми отверстиями. Медные полосы несколько длиннее расстояния между отверстиями и потому допускают перемещение рельсов в стыке.

Черт. 87.

Междопутные электр. соединения.

Соединения помещаются под накладками, по одному с каждой стороны шейки.

Преимущество такого типа заключается в том, что все соединение скрыто под накладками и недоступно для порчи и хищения.

Кроме стыковых помещаются поперечные электрические соединения в виде медной проволоки, соединяющие рельсы одной колеи через каждые 50 метров и рельсы разных путей через каждые 100 метров (см. черт. 87).

ГЛАВА IV.

Основания.

Классификация оснований

Под термином основание в городских железных дорогах обозначается часть верхнего строения пути, аналогичная балластному слою и шпалам в железных дорогах нормального типа. Назначение основания — передать давление от рельсов на грунт и в случае проникания атмосферных вод отвести их от основания. Таким образом, назначение основания в городских железных дорог аналогично назначению балластного слоя в железных дорогах нормального типа. Различие заключается в том, что балластный слой на железных дорогах, подверженный непосредственно действию атмосферных вод, должен быть водопроницаем, причем вода проникает через него на поверхность полотна, скатывается с него в поперечном направлении благодаря соответственным уклонам в поперечном профиле земляного полотна и отводится открытыми канавами.

В городских железных дорогах, где пути замощены и головки рельсов не могут возвышаться над мостовой улицы, отвод воды от подошвы основания, с одной стороны, значительно затруднен, с другой — большая часть атмосферных вод скатывается по поверхности мостовоїі и лишь незначительная часть их при водопроницаемых мостовых проникает в основание и должна быть отведена дренажами. В случае водонепроницаемых мостовых (торцовая из пропитанных шашек или гранитная брусковая с заливкой швов цементом или гудроном) основание изолировано от действия атмосферных вод.

Земляное полотно в железнодорожном смысле в городских дорогах отсутствует; в качестве него служит непосредственно грунт полотна улицы.

Кроме указанного отличия, основание путей трамваев воспринимает давление не только от рельсов, но и от мостовой, и поэтому, как по своей конструкции, так и по размерам оно должно отвечать требованиям устройства прочной мостовой данного типа.

Опыт железных дорог нормального типа при установившейся теории совокупной работы всех частей верхнего строения (рельсов, шпал, балласта и полотна) указывает, что устойчивость пути зависит: 1) от мощности профиля рельсов, 2) длины шпал и их поперечных размеров, 3) толщины и качества балластного слоя и 4) качества грунта земляного полотна и отвода воды

Наиболее устойчивый путь требует минимального ремонта. Так как ремонтные работы пути на городских железных дорогах вследствие замощения рельсовой колеи обходятся значительно дороже, чем на открытых путях железных дорог нормального типа, то становится понятным стремление уменьшить ремонтные работы за счет увеличения устойчивости пути через применение мощных типов рельсов, мощных долговечных типов оснований и хорошего дренажа грунта. Не следует при этом забывать, что мощность и тип основания должны быть согласованы с качеством грунта и отводом воды.

Основания, применяемые на городских железных дорогах, могут быть классифицированы в следующем виде:

I группа — основания без шпал
II „ — основания со шпалами.

I-ая группа делится по материалу основания на:

1) основания бетонные, 2) основания щебеночные.

II-ая группа делится на:

1) основания бетонные, 2) основания щебеночные и 3) основания песчаные.

Бетонные основания.

Тип этот стал применяться с целью создать долговечное неизменяемое основание, не требующее никакого ремонта. Таким образом предполагалось свести ремонт пути лишь к сплошной смене рельса, что при соответственной проектировке рельса имело бы место один раз в 15—20 лет.

В этих целях были удалены шпалы, как подверженные гниению, и рельсы укладывались непосредственно на бетон основания.

В первоначальных типах рельсы ничем не соединялись с основанием и правильность их положения в горизонтальной плоскости гарантировалась лишь поперечными тягами и мостовой. Опыт показал, что тяги и мостовая не обеспечивали постоянства горизонтального положения рельсовой колеи, и, с другой стороны, при проходе подвижного состава рельсы перемещались в вертикальной плоскости (дыхание рельса), что вызывало разрушение бетона под подошвой рельса и просадки пути. Кроме того, обнаружились вредные последствия жесткого основания: шум при проходе поездов и волнообразный износ рельсов.

В дальнейшем развитии, рельсы были соединены с основанием анкерами или поперечными траверсами, и для придания упругости пути под подошву рельса подливался слой асфальта. Опыт показал, что правильность положения рельсовой колеи в горизонтальной плоскости была вполне обеспечена, дыхание рельса уменьшилось, но асфальтовая подбивка требовала периодического ремонта.

Кроме того встретились затруднения при смене рельсов, так как приходилось выламывать бетон для вынутия анкеров, что является работой дорогой и разрушающе действующей на основание.

Таким образом, оказалось, что помимо необходимости периодического ремонта срок службы бетонных оснований ограничен сроком службы рельсов, т.-е. 15 — 20 лет на прямых участках пути и 2 — 3 года на кривых. Попытки создать такое соединение подошвы рельса с анкером, при котором рельс можно вынуть не вынимая анкера, не дали хороших результатов. Наконец, необходимо учесть, что правильно подбить рельс на старом бетонном основании почти невозможно.

Лучший и единственный гарантирующий правильное положение рельса в вертикальной плоскости способ работ заключается в том, что рельсы точно укладываются на деревянных подкладках, при чем анкера или поперечные траверсы уже соединены с рельсами, затем производится бетонировка основания по всей его толщине и путь не включается в движение до полного затвердения бетона, срок которого около 10 — 15 дней. Подбивка по старому основанию может быть произведена или поднятием рельса с таким расчетом, чтобы между основанием и подошвой рельса было не менее $1^1/_2$ — 2", или пробиванием в бетоне продольных дорожек, шириной до 200 мм. и глубиной до 50 мм., для образования пространства для подбивки. Как в том, так и в другом случае подбивку нужно сделать асфальтовым бетоном, так как бетонная подбивка не схватится со старым бетоном, будет разрушаться вследствие небольшой своей толщины и даст жесткое основание.

Указанные явления обнаруживаются при нормальных условиях грунта, хорошем его дренаже и водонепроницаемых мостовых; при отсутствии этих условий может произойти разрушение бетонного основания, особенно при отсутствии своевременного ремонта.

Действительно, при начавшемся дыхании рельса идет местное разрушение бетона под подошвой рельса, причем образуются поверхностные продольные трещины в бетоне, вода, проникая в эти трещины, при замерзании будет разрывать бетон и в конечном результате обнаружатся сквозные трещины, нарушающие цельность основания. Просадки грунта вследствие промыва водой при отсутствии дренажа будут способствовать дальнейшему разрушению бетона.

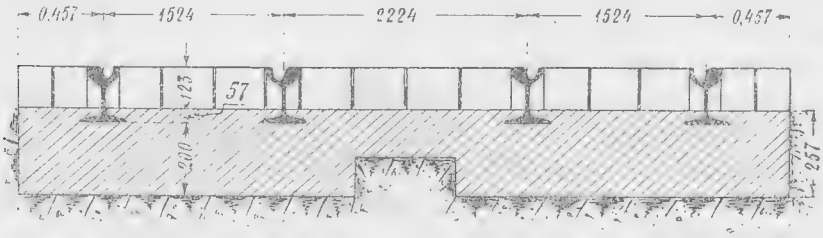
Подобная картина обнаружилась в настоящее время в Ленинграде при сплошной смене рельсов.

Вообще говоря, можно считать установленным, что бетонное основание не представляет собой конструкции постоянной и неизменяемой, оно

требует периодического ремонта и полного возобновления при сплошной смене рельсов. Применение его можно допустить лишь при наличии хорошего дренажа грунта и водонепроницаемых мостовых.

На черт. 88 представлен тип бетонного основания, примененный в Ленинграде: толщина бетона под подошвой рельса 200 мм., а всего 257 мм., при чем рельс заделан в бетон на глубину 57 мм. Слой заделки оказался недостаточным, чтобы удержать рельс от вертикальных перемещений, получились трещины вдоль подошвы рельса, и бетон под ней стал разрушаться, образовались просадки и вертикальные перекосы пути.

Ремонт производился подбивкой асфальтовым бетоном, при чем под рельсом выбивалась продольная канавка, шириной до 180 мм. и глубиной в зависимости от разрушения бетона, но не менее 50 мм. Работы производились по ночам, асфальтовый бетон затвердевал к утру, ко времени открытия движения.



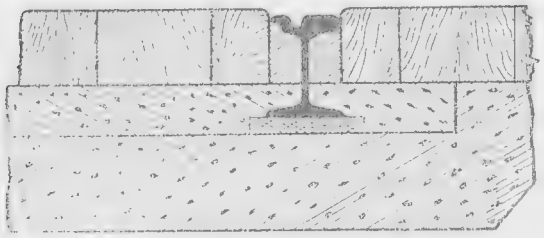
Черт. 88.

Бетонное основание Ленинграда.

Ремонт дал хорошие результаты, и путь стоял около 3 лет. Запущенный ремонт пути и мостовых в военное время отозвался крайне вредно: образовались сквозные трещины в бетоне и основании, появились перекосы пути до 100 мм. высотой. В результате этого, при сплошной смене рельсов основание было переустроено на шпальное в щебне. Замощение было осуществлено шестигранными деревянными торцами с осмолением их древесной смолой. Тип этот не только водопроницаем, но и вследствие отсутствия пропитки разбухает от впитывания воды и поднимается сводом или распирает колею путей. Как видно, данное основание жесткое (только после ремонта подбивкой асфальтовым бетоном оно приобрело эластичность), рельс недостаточно прочно соединен с бетоном, основание малой мощности (толщина бетона должна быть не менее 250 мм. под подошвой рельса), мостовая водопроницаемая, отсутствует дренаж грунта.

Мощность основания в данном случае имела особо важное значение, так как во многих местах под основанием проходили старые кирпичные коллекторы, и хотя они были отремонтированы и засыпаны песком с трамбованием, но всетаки получилась неравномерная осадка грунта под подошвой основания и изламывающие усилия.

К этому же типу может быть отнесен целый ряд подобных оснований с небольшими изменениями.



Черт. 89.

Бетонное основание Москвы.

На черт. 89 изображено укрепление рельса в бетоне, примененное в Московском трамвае. Отличие заключается в том, что между подошвой рельса и бетоном основания имеется слой асфальта.

Вследствие эластичности асфальтовой прокладки рельс пружинит и разрушает верхний слой заделки, и в дальнейшем асфальт выдавливается из-под подошвы рельса. В виду указанных недостатков асфальта, с целью уменьшить жесткость пути на бетонном основании стали применять в виде прокладок дерево.

К этому типу можно отнести способ, применяемый в Париже (см. черт. 90). Под подошвой рельса уложены дубовые доски, длиной 6 м. и толщиной 60 мм. Рельс в бетон не заделан, мостовая из гранитных кубиков уложена на слое песка толщиною 90 мм., швы между отдельными камнями залиты гудроном. Преимущество этой укладки заключается

Черт. 90.

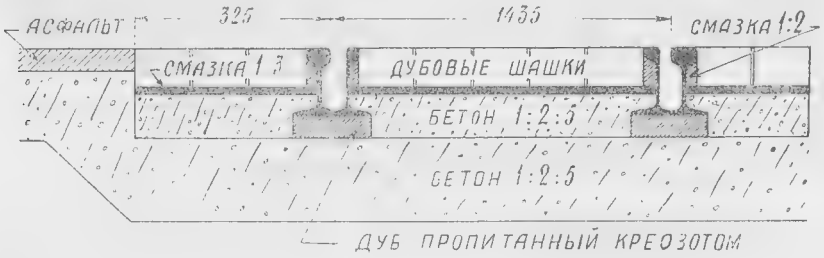
Устройство бетонного основания в Париже.

Черт. 91.

Тип основания в Антверпене.

в том, что нет заделки подошвы рельса в бетон, который, как мы видели выше, разрушается от перемещения рельса; кроме того, дубовая доска лучше сопротивляется ударам подошвы рельса, чем слой асфальта.

Подобная конструкция применена в Антверпене (см. черт. 91). При чем, в случае применения деревянной мостовой, рельсы заделаны в бетон, который служит основанием для мостовой (см. черт. 92).

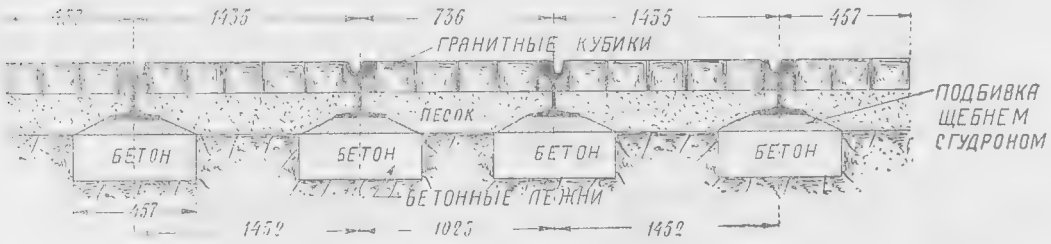


Черт. 92.

Бетонное основание при деревянной мостовой.

В приведенных типах мы имеем бетонное основание без соединения рельсов с основанием, причем основание сплошное под оба рельса и при двойном пути — под оба пути.

При наличии надежных грунтов применяется основание в виде продольных лежней под каждый рельс отдельно.



Черт. 93.

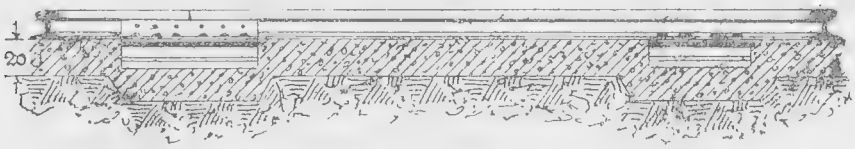
Основание в виде бетонных продольных лежней.

Такой тип применен в Манчестере (см. черт. 93). Основание это устроено в этом городе на тех улицах, где имеются надежные самодренирующиеся грунты однородного строения.

Перейдем к описанию типов оснований, в которых рельсы соединены с основанием посредством анкеров того или иного вида.

Наиболее простая конструкция представлена на чертеже 94. Укладка эта осуществлена в Шеффильде; в стыках и в середине звена рельса к подошве рельса прикреплены анкера в виде отдельных кусков рельсов, замощение сделано в виде гранитных кубиков на слое песка, под подошву рельса подлит слой из смеси асфальта с гудроном. В этом типе соедине-

ние анкера с подошвой рельса не дает возможности смены рельса без вынутия анкера, и потому в дальнейшем развитии мы видим целый ряд конструкций, преследующих цель облегчить снятие рельса без выламывания анкера.

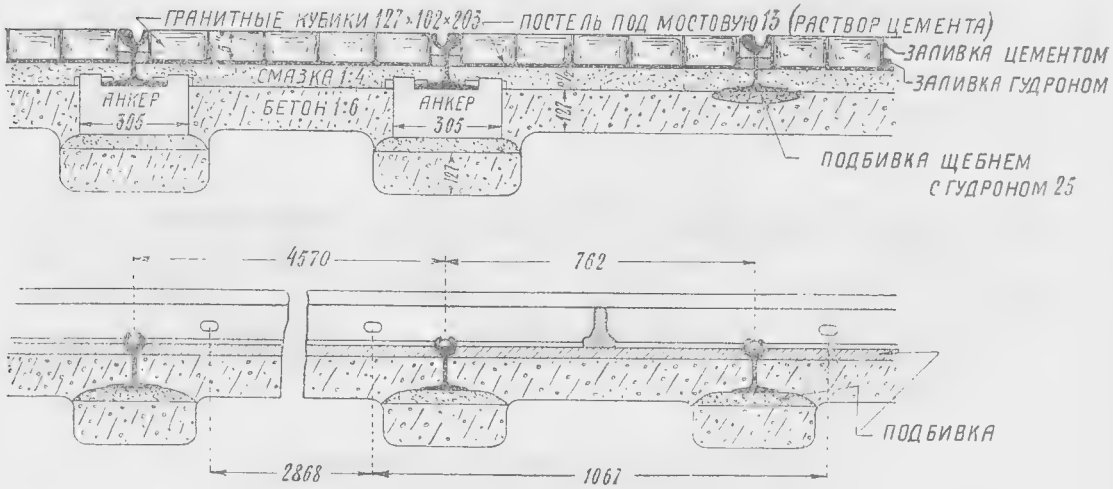


Черт. 94.

Основание трамв. путей в Шеффильде.

На черт. 95 представлен тип укладки, примененный в Лидсе, в Англии.

Рельс соединен с анкером посредством железных клиньев, входящих в проушины анкера. Бетонное основание толщиной в 5″ имеет под анкерами утолщение; как самый рельс, так и анкера подбиты щебнем с гудроном толщиной 1″. Состав бетона: 1 ч. цемента + 6 ч. гравия.



Черт. 95.

Тип основания, примененный в Лидсе.

Мостовая устроена из гранитных кубиков размером 5″ × 4″ × 8″ и уложена на слое смазки из цемента (1 ч.) и гравия (4 ч.), толщиной $2^1/_2$″. Для выравнивания отдельных камней подливается цементный раствор, толщиной $^1/_2$″.

Расстояние между анкерами равно 15′, а в стыках рельсов — 2′6″. Расстояние между тягами — 9′5″, около стыка — 3′6″. Путь уложен по сырому грунту, стыки сварены.

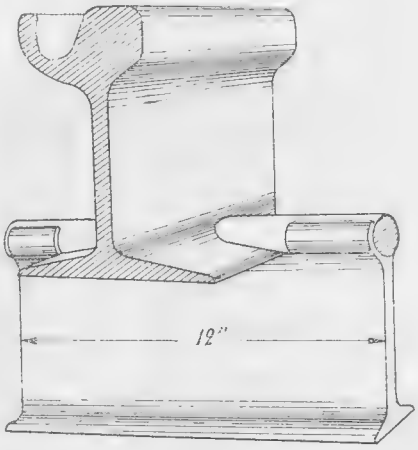
На чертеже 96 представлен в перспективе анкер с проушинами в виде тавровой балки.

В случае сухих надежных грунтов, сплошное основание заменяется бетонными лежнями.

На чертеже 97 представлена подобная конструкция, примененная в Лидсе на улицах с самодренирующимся грунтом.

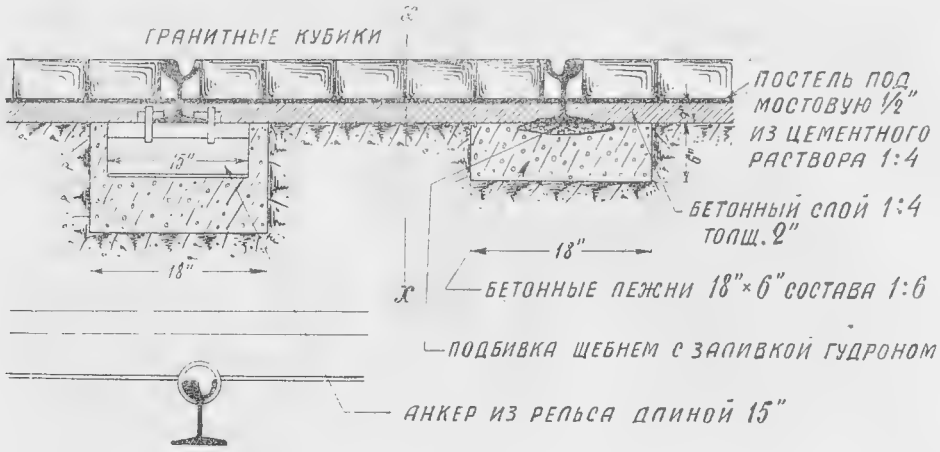
Отличие второй конструкции по сравнению с первой заключается в применении вместо сплошного бетонного основания продольных бетонных лежней сечением $6'' \times 18''$ и анкеров в виде кусков рельсов, соединенных головкой с подошвой рельса кольцевыми захватами.

Обе описанные конструкции имеют анкера в виде отдельных кусков рельсов или балок под каждый рельс отдельно; ниже приводятся конструкции с поперечными анкерами в виде поперечных траверс.



Черт. 96.

Анкер.



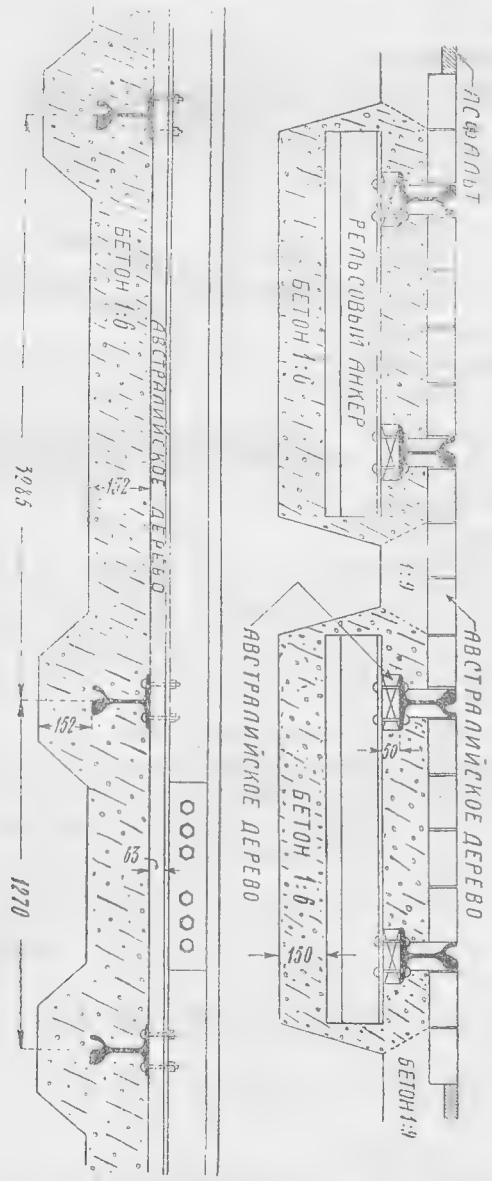
Черт. 97.

Укладка рельс в Лидсе при самодренирующемся грунте.

На черт. 98 представлена укладка в Голандии, в Гааге.

Настоящая конструкция представляет собой пример мощного сплошного основания; прокладка под подошву рельсов досок из австралийского дерева придает ему эластичность. Анкера связывают оба рельса между

собой в поперечном направлении. Мостовая из австралийского дерева примыкает к асфальтовой мостовой улицы. Настоящее основание применено на улицах с сырым грунтом.



Черт. 98.

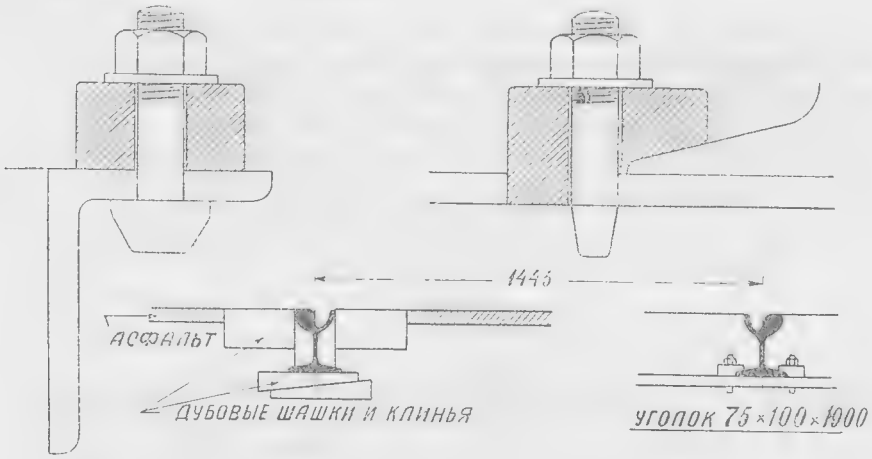
Укладка трамвайных путей в Гааге.

Неудобством является соединение анкеров с подошвой рельсов болтами, которые трудно отвинчиваются и не могут быть вынуты и заменены новыми при смене рельсов. С целью дать возможность вынимать болты применено много способов.

Приведем конструкцию Миланского трамвая (см. черт. 99). Как видно из чертежа, анкер в виде уголкового железа соединяет оба рельса друг с другом и втоплен в бетон основания; расстояние между анкерами 1.500 мм., около стыка — 800 мм. Между анкерами рельс лежит на дубовых клиньях. Соединение анкера с подошвой рельса осуществлено посредством особых зажимов, стянутых болтами. Отвинтив гайку и сняв зажим, можно повернуть болт на 90° и вынуть его, так как он имеет прямоугольную головку и соответствующий вырез в полке уголка. Таким образом, при смене рельсов можно заменить и болты. Описанная конструкция представляется полужесткой, так как нет эластичной прокладки на протяжении всей подошвы рельса.

На черт. 100 представлена переходная конструкция на деревянных лежнях, уложенных по бетону, примененная в Гуле. Продольные лежни ($4'' \times 7''$ и дл. $30'$) из австралийского твердого дерева, пропитанного

креозотом, соединены с основанием и подошвой рельса сквозными болтами. Путь эластичный, рельсы соединены с основанием, расстояние между болтами в продольном направлении 3'6". Основание мощное и может быть применено на сырых грунтах.



Черт. 99.

Анкер в виде уголкового железа, примененный в Милане.

В дальнейшем мы видим применение шпал, которые заделаны в бетон. См. черт. 101, где представлено основание, примененное в Лидсе.

В этом типе анкера заменены шпалами, которые заделаны в бетон. По сравнению с предыдущим типом путь здесь менее эластичен, так как

Черт. 100.

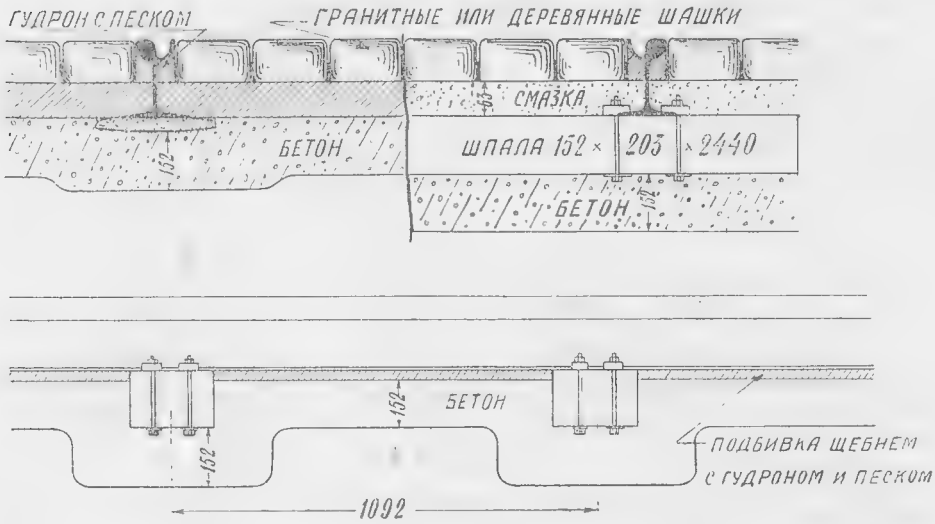
Укладка на деревянных лежнях, примененная в Гуле.

рельс не на всем протяжении лежит на дереве, но зато он лучше соединен в поперечном направлении.

Кроме того, как лежни, так и шпалы, заделанные в бетон, требуют при смене разрушения бетона.

Приведем еще оригинальный тип соединения рельса с основанием посредством особых подушек, примененный в Ливерпуле (см. черт. 102).

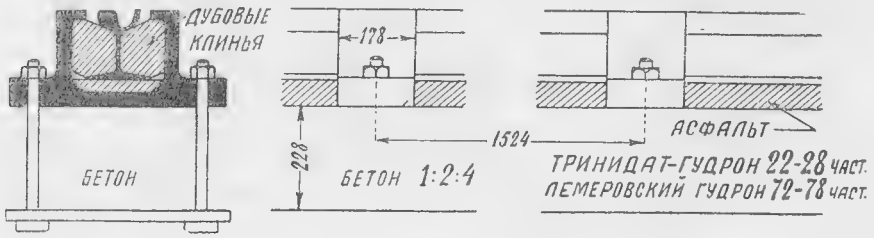
Указанные на чертеже подушки аналогичны применяемым для двухголового рельса на магистральных железных дорогах Англии. Рельс укре-



Черт. 101.

Укладка на шпалах, заделанных в бетон.

пляется в подушке посредством дубовых клиньев. Смена рельсов легко производится выбивкой этих клиньев; соединения рельса с подушками эластичны. Между подушками подошва рельса подбита смесью асфальта,



Черт. 102.

Соединение рельс с основанием при помощи подушек

тринидат-гудрона и лемеровского гудрона, которые обладают эластичностью при достаточной твердости.

Конструкция представляет совершенный тип, но высокой стоимости.

Наиболее простой и отвечающей всем требованиям, как техническим, так и экономическим, является последняя конструкция, применяемая в Америке. Пройдя через тяжелый опыт смены рельсов, влекущей за собой частичное разрушение бетонного основания и иногда полную его разломку, американцы пришли к смешанному типу, в котором бетон является лишь подушкой, передающей давление от верхнего строения на грунт.

Как видно из чертежа 103, на бетонной подушке, толщиной от 7″ до 9″, укладывается путь на шпалах, расположенных в расстоянии до 30″; рельсы прикреплены к шпалам шурупами, шпалы из дерева твердых пород, пропитанных креозотом. Подбивка шпал сделана мелким щебнем, слоем толщиной не менее 2″; ящики между шпалами заполнены тем же щебнем с плотным трамбованием. Мостовая из гранитных кубиков, с заливкой швов внизу гудроном, сверху цементом, уложена на слое крупного песка и гравия, толщиной до 2″.

Черт. 103.

Тип бетонного основания в Америке.

Подобная конструкция дает долговечный эластичный путь со всеми преимуществами пути на шпалах, при простом производстве работ и легкой смене рельсов и шпал. Конечно, при необходимости замощения полосы путей асфальтом или деревянными шашками нужно переходить к заделке шпал в бетонное основание под мостовую.

Из вышеприведенных примеров мы видим, что существующие конструкции бетонных оснований можно привести к следующим типам:

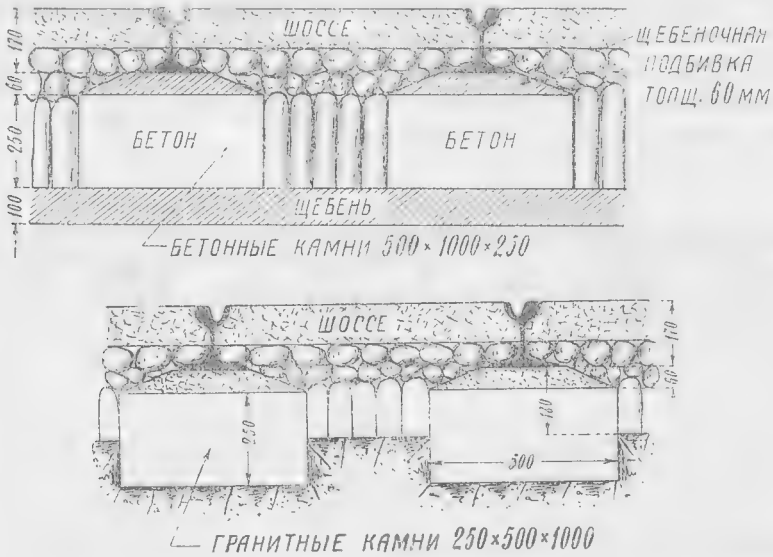
1) Основание без анкеров и элостичной прокладки; рельсы уложены непосредственно на бетон без анкеров, с заделкой подошвы и смазкой под мостовую (Ленинград).

2) Основание без анкеров с эластичной прокладкой между подошвой рельса и основанием: а) в виде слоя асфальта (Москва), б) деревянных продольных досок (Париж, Антверпен), в) щебень с гудроном (Манчестер).

3) Основание с отдельными анкерами под каждый рельс: а) с подбивкой анкеров щебнем с гудроном, б) без подбивки анкеров.

4) Основание с поперечными анкерами, соединяющими оба рельса: а) без эластичных прокладок (Милан), б) с эластичными прокладками (Гаага).

5) Основание с укладкой рельсов на деревянных брусьях, заделанных в бетон основания: а) с продольными лежнями (Гуль), б) с поперечными шпалами (Лидс).



Черт. 104.

Применение отдельных подушек, бетонных или из камня.

6) Основание с заделанными в бетон подушками, в которых закреплен рельс эластично (Ливерпуль).

7) Шпальное основание с щебеночным балластом на бетонной подушке (последний тип Америки).

В зависимости от грунтов вышеуказанные типы, за исключением оснований с поперечными анкерами и шпалами, делятся на основания сплошные и основания в виде лежней под каждый рельс отдельно (Лидс, Манчестер).

Кроме описанных типов применяются иногда, главным образом при восстановлении бетонных оснований после сплошной смены рельсов, отдельные бетонные или железобетонные подушки, или отдельные отесаные камни.

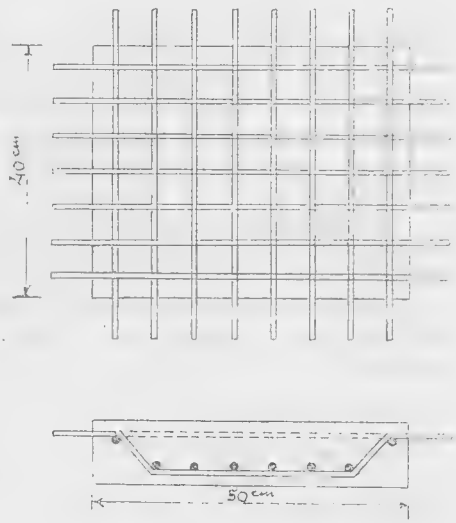
Примером может служить укладка, представленная на черт. 104. Как видно из чертежа, под рельсы уложены отдельные бетонные подушки или гранитные камни. Подошва рельса подбита щебнем. В зависимости от

грунта подушки уложены или на слое щебня, или непосредственно на грунте. Пространство между подушками заполнено булыжным камнем разной крупности (пакеляж) и сверху сделано шоссе. Нечто подобное осуществлено в Дрездене при ремонте бетонного основания после сплошной смены рельсов.

Основание в Дрездене было в виде продольных бетонных лежней, как указано на черт. 105. Подбивка, высотой 80 мм., была сделана цементным раствором (1 ч. цемента, 2 ч. гравия). После смены рельсов слой подбивки был удален и вместо нее положены отдельные камни (сиенит), размером 150 × 150 мм. и толщиной от 50 — 100 мм., в расстоянии 500 мм. друг от друга. Цель укладки камней — избежать медленно твердеющей подбивки, дабы не задерживать открытия движения.

Черт. 105.

Тип основания, примененный в Дрездене.



Черт. 106.

Железо-бет. подушки, примененные в Берлине для укладки путей.

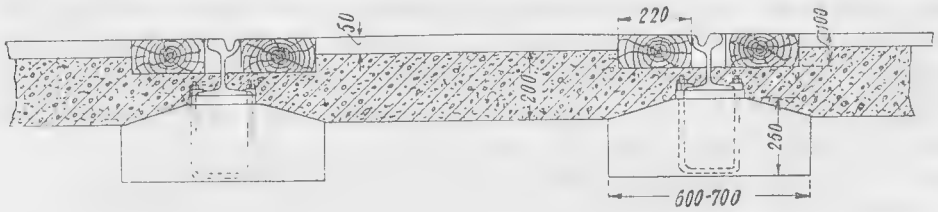
В Берлине с тою же целью употреблялись железобетонные подушки, как указано на черт. 106. Толщина подушки 100 мм., ширина 400 мм. и длина 500 мм. Подушки располагаются в расстоянии 1,50 м. между центрами их. Рельсы на подушках подбивались щебнем с гудроном, и затем пространство между плитками заполнялось бетоном для образования основания под мостовую. Для лучшего соединения плиток с бетоном проволока выпущена из них наружу.

На чертеже 107 представлены подушки с заделанными в них анкерами; толщина плиток 250 мм., размер площади 600 × 600 мм. Способ этот применяется также в Берлине.

Кроме указанных, есть целый ряд типов укладки на железобетонных шпалах, которые уже не представляют собой собственно разновидности бетонных оснований и пока не получили широкого применения.

Вышеприведенные конструкции исчерпывают основные типы бетонных оснований.

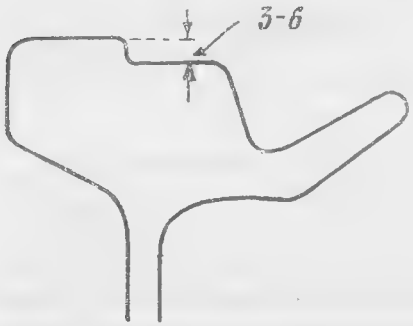
Вообще говоря, для оценки и сравнения разных типов необходимо установить критерий для суждения о целессообразности той или иной конструкции и особые условия работы верхнего строения пути:



Черт. 107.

Подушки с заделанными в них анкерами.

1) Верхнее строение пути городских железных дорог подвержено действию не только подвижного состава, но и экипажного движения. Влияние последнего весьма значительно и действует разрушительно не только на мостовую, а через нее и на основание, но и непосредственно на рельсы.



Черт. 108.

Ступенчатый износ рельса.

На чертеже 108 представлен ступенчатый износ рельсов, достигающий $^1/_4''$, и отгиб губки от действия тяжелого грузового движения фур и грузовых автомобилей, наблюдаемый инженером Holt'ом в Англии.

2) Скорость движения поездов и экипажей имеет преобладающее значение даже при тех нормах, которые имеются в городах.

Holt приводит сравнение двух участков; первый участок при тяжелом интенсивном движении (прошло 60 милл. тонн груза при малых скоростях); второй участок при малом движении (прошло 10 милл. тонн груза при больших скоростях). Оказалось, что на втором участке путь был совершенно расстроен и рельсы изношены, тогда как на первом он был еще в удовлетворительном состоянии.

3) При проходе подвижного состава путь в его целом испытывает упругие и остающиеся деформации; результатом последних является расстройство пути и необходимость ремонта. Теоретически жесткое основание будет способствовать появлению остающихся деформаций, что и под-

тверждается опытом разрушения бетона под подошвой рельса и износами рельсов и подвижного состава.

4) При тяжелом экипажном движении мостовые должны быть достаточно прочны и покоиться на мощном основании.

5) Отсюда ясно, что бетонное основание должно давать эластичный путь при достаточной мощности, обеспечивающей прочность и долговечность не только рельсового пути, но и мостовой.

6) В виду вредного влияния вибраций рельсов в вертикальном направлении и перемещений их в горизонтальной плоскости, конструкция основания должна во избежание этих перемещений обеспечивать прочное соединение рельсов с основанием.

7) Конструкция соединения рельсов с основанием должна обеспечивать легкую смену рельсов без разрушения основания.

8) Наконец, конструкция основания должна быть долговечна и отвечать условиям наивыгоднейшего производства работ, как при сооружении пути, так и при последующем ремонте, без загромождения улиц и перерыва движения, при наименьшей стоимости работ.

Этими требованиями исчерпываются общие условия работы бетонных оснований. Очевидно, в зависимости от местных условий движения (интенсивность, скорость и нагрузки) и грунта, будет меняться мощность основания (толщина под подошвой рельса), а равно и его тип (сплошное основание или в виде лежней под каждый рельс отдельно).

Если сравнить вышеописанные конструкции с точки зрения их целесообразности согласно предъявляемым к ним требованиям, то мы получим постепенное их улучшение от типа I-го до последнего типа, при чем тип 6-ой, хотя и является совершенным в техническом отношении, но дорог в исполнении.

Тип I-й представляет основание жесткое и без соединения рельсов с основанием.

В типе 2-ом основанию придана эластичность.

В типе 3-ем рельсы соединены с основанием, но эластичность основания не обеспечена.

В типе 4-ом рельсы соединены с основанием и обеспечена эластичность, но затруднена смена рельсов.

В типе 5-ом облегчена смена рельсов, но затруднительна смена продольных брусьев и шпал.

Наконец в типах 6-м и 7-м все требования выполнены: путь эластичный, рельсы обеспечены от вертикальных и горизонтальных перемещений, смена рельсов и шпал легка и ремонтные работы по подбивке требуют лишь перемощения мостовой.

Относительно применения бетонного основания можно сказать, что оно целесообразно в тех случаях, когда по условиям трамвайного и эки-

пажного движения необходимы мощный путь и мостовая, т.-е. когда в данном городе имеется тяжелое грузовое и весьма интенсивное экипажное движение, и трамвай сооружается при больших тяжелых вагонах, при больших скоростях и интенсивности движения.

Обычно, в этих случаях улицы города представляются в вполне законченном виде, мостовые совершенных типов, водонепроницаемые на бетонных основаниях, продольный и поперечный профиль улиц имеют правильную, согласованную с техническими условиями укладки путей, форму; подземные сооружения канализации, водопровода, кабельной сети, телефонов и освещения закончены и планомерно размещены. В этом случае укладка пути на бетонном основании вызывается требованиями технической однотипности всей улицы, с целью получить по всей ее ширине одинаковые мостовые одной и той же мощности и вида. Решающим фактором является тип мостовых улиц: если мостовые эти требуют бетонного основания и таковое имеется по всей ширине улицы, то применение бетонного основания и под пути необходимо.

В большинстве промышленных городов Европы, развитие которых шло постепенно и планомерно, имеются все вышеуказанные условия и потому мы видим широкое развитие бетонных оснований. Та же картина представляется и в Америке. В России этой планомерности не наблюдается, и в частности Ленинград представляет собой полное нарушение технической гармонии в смысле обслуживающих его благоустройство сооружений: канализация отсутствует, водопроводная и кабельная сеть уложены без всякой системы, профиля улиц имеют случайную форму, мостовые самых несовершенных типов.

В этом отношении Москва и Киев имеют более благоустроенный вид.

Поэтому говорить о применении бетонных оснований в России в широких размерах пока еще преждевременно, и распространение их пойдет параллельно с улучшением мостовых улиц. В настоящее же время оно применено лишь в столичных городах на главных улицах центра, причем в Ленинграде дало отрицательные результаты по вышеуказанным причинам.

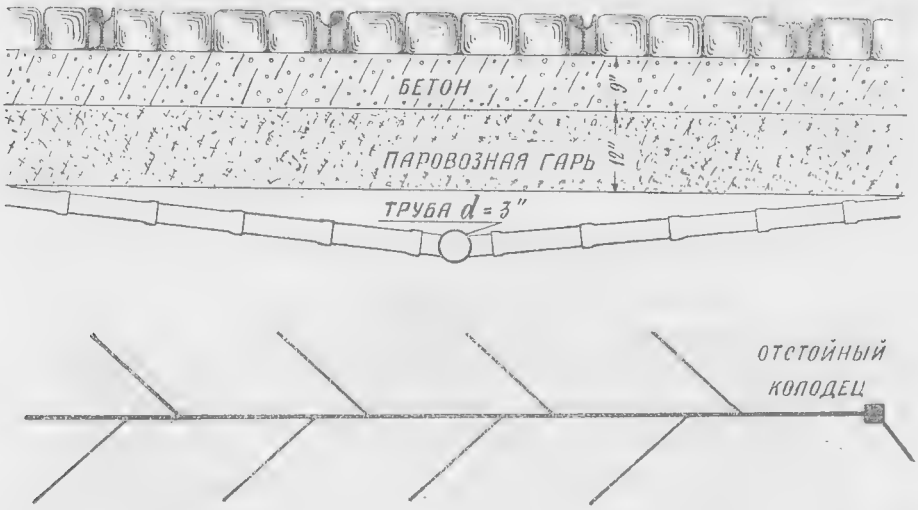
Иногда бетонное основание применяется на очень слабых грунтах при одновременном устройстве дренажа его. Примером может служить укладка пути в одном из городов Англии (см. черт. 109).

В этом же роде устраивается дренаж и на американских трамваях. На чертеже 110 представлена конструкция на слабом пропитанном водой грунте при тяжелом интенсивном движении.

При двойном пути дренаж устраивается под междопутием.

В вышеприведенных чертежах бетонных оснований уже были указаны основные размеры. Вообще говоря, толщина бетонного основания зависит от грунта, от вертикальных нагрузок и от скорости движения. Опытные данные указывают, что толщина бетона под подошвой рельса колеблется от 8″ (200 мм.) до 12″ (300 мм.), при сплошном основании без шпал.

При укладке шпал толщина бетона под шпалой от 150 — 200 мм. Под анкером обыкновенно принимают толщину бетона в 150 мм. Чем больше интенсивность движения при тяжелых вагонах и больших скоростях движения и чем слабее грунт, тем большую толщину нужно придавать основанию.



Черт. 109.

Бетонное основание на слабом грунте.

Черт. 110.

Тип бетонного основания при слабом грунте, примененный в Америке.

Ширина бетонного основания обыкновенно принимается равной ширине колеи плюс 2γ, где $\gamma = 350 - 500$ мм.; при укладке шпал обыкновенно придают основанию ширину на 200 мм. больше длины шпал для возможности рехтовки. При длине шпал равной 1,15 с. = 2450 мм., получим ширину основания под один путь $2450 + 200 = 2650$ (~ 2700 мм.).

При ширине колеи равной 1000 мм. ширину основания можно принять 1500 — 1700 мм.

Весьма важное значение для прочности основания имеет состав бетона и тщательность его приготовления. В Англии обычно применяют состав бетона: 1 ч. цемента, 2 ч. песка, 5 ч. гравия и для смазки — 1 ч цемента, 2 ч. песка, но встречаются и более жирные бетоны, а именно:

1 ч. цемента, 2 ч. песка, 3 ч. щебня;
1 ч. „ 2 ч. „ 4 ч. „

Причем длительность твердения принимается 6 — 7 дней.

Бетонный слой под мостовую обычно делается из состава: 1 ч. цемента, 4 ч. гравия.

В Германии часто применяется бетон без щебня, а именно:

1 ч.	цемента,	2 ч.	крупного	песка
1 ч.	„	3 ч.	„	„
1 ч.	„	4 ч.	„	„
1 ч.	„	5 ч.	„	„
1 ч.	„	6 ч.	„	„

Инженер Буссе (начальник пути Берлинского трамвая) считает, что для прочности бетона необходимо установить соотношение между его составом и сроком твердения; с своей стороны, для бетона без щебня он предлагает следующие нормы:

1 ч.	цемента,	4 ч.	песка —	срок	6 — 10 дней
1 ч.	„	6 ч.	„ —	„	10 — 15 „
1 ч.	„	8 ч.	„ —	„	15 — 20 „

В случае применения гравия вместо щебня Управление Берлинского трамвая рекомендует следующие пропорции:

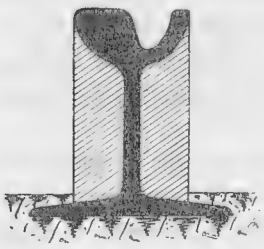
1 ч.	цемента,	1 ч.	песка,	2 ч.	гравия
1 ч.	„	2,5 ч.	„	6 ч.	„
1 ч.	„	3 ч.	„	6 ч.	„
1 ч.	„	4 ч.	„	5 ч.	„
1 ч.	„	4 ч.	„	6 ч.	„
2 ч.	„	3 ч.	„	5 ч.	„

Помимо выбора состава необходимо обратить особое внимание на тщательность изготовления раствора. Хорошее перемешивание для равномерного распределения цемента, постепенное и аккуратное прибавление воды во избежание вымывания цемента, промывка щебня, а равно и испытание цемента и песка — все эти обстоятельства имеют решающее значение на прочность бетонного основания. Кроме того необходимо дать окрепнуть бетону до открытия движения, так как вибрация рельсов при проходе подвижного состава передается бетону и нарушает условия его твер-

дения. Обстоятельство это имеет большое значение, и нарушение его чаще всего является причиной разрушения основания впоследствии.

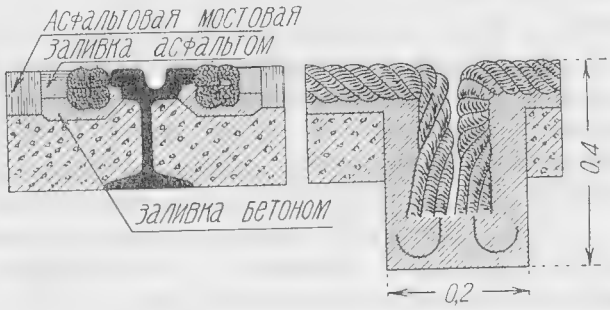
В дополнение к вышесказанному необходимо указать на способы устройства мостовой вдоль самых рельсов.

Какого бы типа ни была мостовая, она должна иметь боковой упор к рельсу, и в силу этого необходимо выравнять фасонную боковую поверхность рельса; достигается это разными способами. Наиболее простой заключается в том, что боковые поверхности рельса заполняются цементным раствором, состава: 1 ч. цемента и 2 ч. песка, как показано на чертеже 111. Недостаток заключается в том, что при ремонте мостовых цементная смазка выбивается и возобновление ее затруднительно, так как при движении поездов рельс вибрирует, что препятствует твердению смазки и схватыванию ее с металлом рельса.



Черт. 111.

Заделки шейки бетоном для примыкания мостовой.



Черт. 112.

Тип соединения мостовой с рельсом.

В виду этого цементная смазка заменяется смесью гудрона с песком, или применяются заранее изготовленные бетонные кирпичи фасонного профиля соответственно боковой поверхности рельса, или деревянные пластины из пропитанного дуба, при деревянных мостовых.

Помимо создания бокового упора важно обратить внимание на примыкание мостовой к головке рельса. Примыкание гранитной и торцовой мостовой осуществляется при помощи соответственной формы шашек, причем вдоль рельса оставляется упругий шов толщиной до 5 мм., залитый гудроном. Наибольшую трудность представляет соединение с асфальтовой мостовой, которая при непосредственном примыкании к головке рельса разрушается от его вибрации. Поэтому при асфальтовых мостовых лучше всего укладывать вдоль рельса бордюрные ленты из гранитных или деревянных брусков с устройством упругого шва.

В Кельнском трамвае был применен особый способ укладки вдоль рельса, в особой канавке, каната толщиною 6 см. с проложенной внутри проволокой диаметром 5 мм., канат залит гудроном. Способ этот вряд ли рационален, так как канат должен скоро изнашиваться (см. черт. 112).

Такие же затруднения встречаются и при устройстве шоссе в пределах путей, и лучшим способом будет укладка бордюрных камней.

Вообще говоря, лучшая мостовая для путей это гранитные кубики, и казалось бы, что этот тип не может встречать возражений даже в случае замощения улицы другой мостовой. Америка и Англия, главным образом, и применяют этот род мостовых. Лишь в исключительных случаях, как, например, на Театральной площади в Берлине, где асфальтовая мостовая блестит, как паркет, и где большое движение публики во время антрактов в театрах, есть смысл применить асфальтовое замощение для путей, главным образом, с эстетической целью.

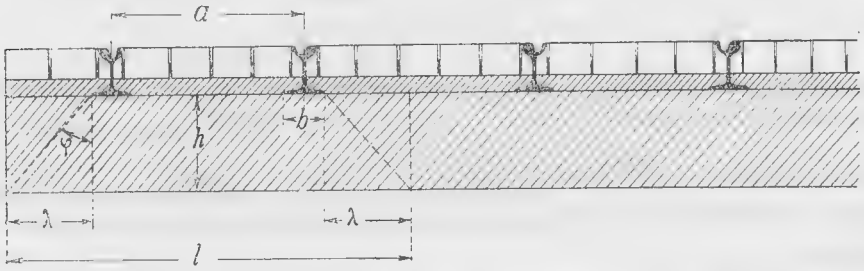
Заканчивая на этом описание бетонных оснований, отметим, что главный толчек в пользу применения шпал дал опыт сплошной смены рельсов, обнаруживший не только большие затруднения по производству самой смены рельсов, но и вскрывший полную картину службы самого основания за больший период времени. В настоящее время Бруклин и Ленинград одновременно производят переустройство бетонного основания на шпалы в щебне. В Бруклине для смены рельсов, как было указано выше, пришлось разломать все основание, в Ленинграде обнаружено полное разрушение основания, как следствие несовершенной конструкции, запущенного ремонта и неподходящих местных условий.

Вообще говоря, в России, как уже было указано, до настоящего времени улицы еще не доведены до того совершенства, когда устройство бетонного основания совершенного типа могло бы быть оправдано в широких размерах. Исходя из того принципа, что все технические конструкции по благоустройству города должны быть согласованы друг с другом и не нарушать общей гармонии, можно сказать, что время для широкого применения бетонного основания для нас еще не настало. Применяется оно лишь в исключительных случаях на главных улицах центра, где местные условия хоть с внешней стороны соответствуют этому типу.

Щебеночные основания.

Щебеночное основание подобно бетонному преследует долговечность службы при наименьшем ремонте, и потому шпалы, как материал подверженный гниению и требующий для своей смены вскрытия мостовых на большом протяжении, исключаются. По сравнению с бетонным основанием без шпал оно имеет преимущество, как основание упругое, дающее возможность легкой подбивки рельсов. Рельсы в основании этого типа не соединены с основанием и обеспечиваются от горизонтальных и вертикальных перемещений трением о мостовую, поперечными тягами и замощением колеи, и только на кривых, где вследствие значительных горизонтальных усилий можно опасаться боковых перемещений пути, помещаются анкера в виде заделанных в щебень отдельных кусков рельсов.

Основание это имеет широкое применение в Европе и меньшее в Англии и Америке. Лучшим типом является применяемый в Берлине, когда улица шоссирована по всей своей ширине, плотно укатана, и на этом основании уложены рельсовые пути с подбивкой их крупным гравием. затем весь профиль улицы замащивается гранитными брусками на слое гравия с заливкой швов гудроном. Благодаря такой конструкции поверхностные воды не проникают в основание и скатываются в лотки улиц. Гравий не проникает в щебеночное основание вследствие своей крупности, и путь служит хорошо при движении средней интенсивности и надежном грунте. Толщина основания под подошвой рельса 250 мм. при надежном грунте и должна быть увеличиваема в зависимости от интенсивности движения и качества грунта. В случае устройства щебеночного основания не по всей ширине улицы, а лишь по ширине путей, необходимо озабо-



Черт. 113.

Сплошное щебеночное основание.

титься устройством дренажа грунта. Размеры щебеночного основания под пути должны обеспечивать путь от возможных просадок в зависимости от качества грунта и допускать рехтовку пути.

На чертеже 113 представлен нормальный тип сплошного щебеночного основания. Ширина основания под один путь $l = a + b + 2\lambda$,

где a — ширина колеи

b — ширина подошвы рельса

$\lambda = h tg \varphi$, где h толщина щебеночного основания,

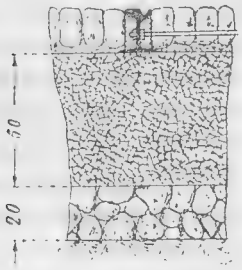
φ — угол распространения давления в щебне, как минимум $\varphi = 30^\circ$.

При нормальных условиях грунта и движении средней интенсивности толщина щебеночного основания обыкновенно принимается $h = 250$ мм. и ширина его $l = 2{,}00$ м. для нормальной колеи.

Подобный тип основания применен в Гамбурге и Ленинграде. В Ленинграде щебеночное основание дало скверные результаты, так как грунт Ленинграда слабый, дренаж отсутствует, а основание подобной мощности может служить лишь при надежном грунте и хорошем дренаже.

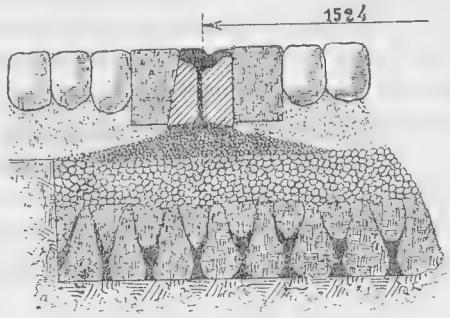
Примером более мощного основания может служить тип, примененный в Антверпене. Как видно из чертежа 114, на грунт положен слой каменной сухой кладки (Packelage) толщиной 200 мм. и сверх него устроено щебе-

ночное основание, толщиной 500 мм. Подбивка рельса сделана крупным гравием такой крупности, что он не проникает в щебеночное основание, на этом же гравии покоится мостовая из гранитных кубиков с заполнением швов гудроном. Основание работает хорошо, путь при весьма интен-



Черт. 114.

Тип щебеночного основания, примененный в Антверпене.

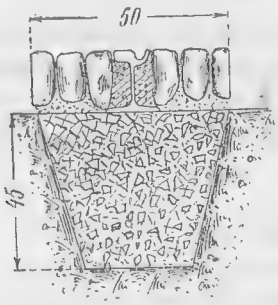


Черт. 115.

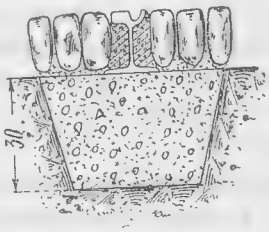
Тип щебеночного основания Московского трамвая.

сивном движении, а равно и мостовая не требуют частого ремонта. Повидимому, в данном типе ремонт мостовой и подбивка пути совпадают по времени.

Подобный же тип основания применен в Москве (см. черт. 115). Путь уложен на щебеночном основании, которое покоится на каменном паке-

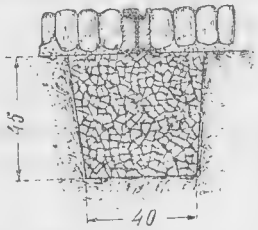


Черт. 116.



Черт. 117.

Щебеночное основание в виде отдельных канавок в Гамбурге.



Черт. 118.

Щебеночное основание в виде отдельных канавок в Антверпене.

ляже. Пустоты щебеночного основания заполнены песком, подбивка рельсов сделана гравием, который располагается под подошвой рельса в виде призмы. Вдоль рельса положены бордюрные ленты из гранитных кубиков, остальная полоса пути замощена булыжной мостовой. Мостовая получается водопроницаемая, и вода, попадая в основание, несомненно ослабляет его и способствует образованию просадок и перекосов. Во избежание этого

необходимо устройство дренажа основания, в противном случае вода будет размывать грунт и произойдет общее разрушение основания.

В местах с движением меньшей интенсивности, в целях экономии в щебне, применяется не сплошное щебеночное основание, а в виде канавок отдельно под каждый рельс. На черт. 116 и 117 представлены подобные основания, примененные в Гамбурге на второстепенных линиях; глубина канавок, заполненных щебнем, 300 — 450 мм., при ширине по верху 500 мм. Для облегчения земляных работ канавке придана трапецоидальная форма (ширина по низу = 400 мм.). Замощение сделано гранитными кубиками на слое гравия, уложенном по щебню.

Черт. 118 представляет подобное же основание на второстепенных, линиях Антверпена. Щебень рекомендуется брать для нижних слоев более крупный, размером до 3″, в верхних слоях менее крупный — от $1^1/_2$ до 2″, этот же щебень добавляется к гравию для подбивки рельсов.

Как видно из описанных примеров, имеется три основных типа щебеночных оснований:

1) сплошное основание по всей ширине улицы в виде шоссировки,

2) сплошное основание под два пути,

3) основание в виде канавок под каждый рельс отдельно, причем имеются две разновидности каждого из типов:

а) основание из одного слоя щебня,

б) основание из двух слоев: нижний — из каменной сухой кладки, пакеляж, верхний — из щебня.

Вообще говоря, щебеночные основания применимы при наличии надежного грунта и водонепроницаемой мостовой из гранитных кубиков. При укладках, сопряженных с переустройством всей улицы, можно рекомендовать устройство сплошного основания в виде шоссе, особенно, если движение трамвая и экипажей одной интенсивности и требует основание под мостовую и пути одной толщины.

При укладках без переустройства улицы применяются типы 2 и 3-й, причем 3-ий тип, в виде отдельных канавок, может быть применен на второстепенных линиях с движением малой интенсивности. Применение типов *а* или *б* обусловливается качеством грунта и интенсивностью движения. Чем движение более интенсивно и грунт менее надежен, тем больше должна быть толщина основания.

Как видно из указанных примеров, наибольшая глубина 500 мм. для слоя щебня и 200 мм. для слоя пакеляжа: общая глубина = 700 мм.

Достоинства щебеночного основания: простота конструкции и производства работ, упругость основания, отсутствие разрушающихся от времени материалов, требующих смены, легкость ремонта пути и сплошной смены рельсов.

Недостаток — отсутствие соединения рельсов с основанием.

Можно особенно рекомендовать применение данного основания для укладки узловых соединений, где сложность пересечений и ответ-

влений затрудняет размещение шпал, а износ кривых рельсов требует их частой смены.

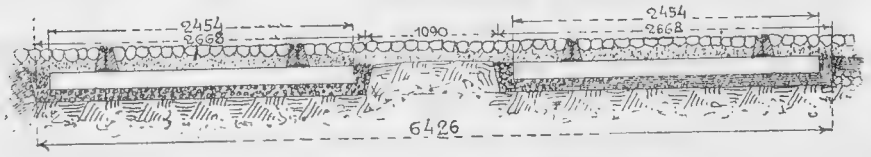
В этом случае, для устойчивости путей и во избежание их горизонтальных перемещений, необходимо укладывать анкера.

При больших скоростях движения данное основание мало пригодно вследствие отсутствия соединения рельсов с основанием.

Шпальные основания.

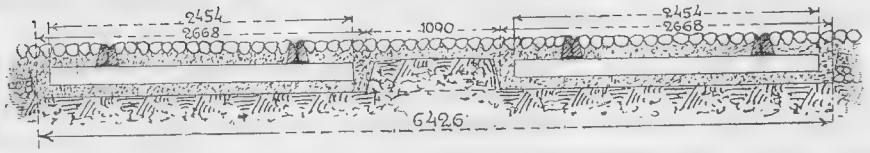
Тип этот наиболее распространен в России, в Европе применяется лишь в Италии и кроме того имеет применение в Северной Америке. По характеру балласта имеется два рода основания:

1) шпалы на щебеночном основании,
2) шпалы на песчаном основании.



Черт. 119

Шпальное основание на щебне Ленингр. трамвая.



Черт. 120.

Шпальное основание в песке Ленингр. трамвая.

На черт. 119 и 120 представлено основание на щебне и песке, примененное в Ленинграде. Ширина основания устанавливается в зависимости от длины шпал и необходимого свободного промежутка для перемещения шпал с целью правильной установки пути в горизонтальном направлении (рехтовка).

Шпалы применяются для городских укладок длиной 1,15 с., с каждой стороны оставляется промежуток по 0,05 с., таким образом,

ширина основания под один путь будет 1,25 с. При двойном пути, как представлено на черт., при междопутии равном 1,00 с. и расстоянии между осями путей 1,714 с., между основаниями остается промежуток $1{,}72 - 1{,}25 = 0{,}47$ с. При междопутии равном $5' = 0{,}714$ с., между основаниями остается расстояние $0{,}714 + 0{,}714 - 1{,}25 = 0{,}18$ с. и тогда делается общее основание под оба пути шириной $1{,}25 + 1{,}714 = 2{,}96$ с.

Шпальное основание обычно применяется при замощении улиц булыжной мостовой, причем при интенсивном движении в качестве балласта применяется щебень, при слабом движении — песок.

Толщина основания под подошвой шпалы берется от 100 мм. до 250 мм., в зависимости от качества грунта. Размеры брусковых шпал $6'' \times 8'' \times 8'$. Применение этого основания, в сопровождении мостовыми несовершенными водопроницаемыми, можно рекомендовать в тех местах, где шпалы не скоро гниют. Как известно, худшими условиями для службы шпалы будет постоянное изменение влажности, наоборот — в постоянно сухом или постоянно сыром месте шпалы сохраняются хорошо. Например, климатические условия Ленинграда представляются выгодными для службы шпал, так как грунт почти всегда влажный. По условиям податливости Ленинградского грунта применение шпал, как увеличивающих площадь передачи давления от подошвы рельсов, тоже представляется наиболее рациональным. Наконец, преобладающее замощение булыжной мостовой водопроницаемой, требующей частого ремонта и не представляющей достаточного упора от горизонтальных перемещений пути, тоже создает условия, при которых шпальное основание является наиболее целесообразным.

Применение этого основания в Италии объясняется наличием булыжных мостовых и сухого грунта. Климатические условия Северной Америки близки к Ленинградским. Данное основание допускает применение и торцовых мостовых, укладываемых на деревянном настиле из досок прибитых к шпалам гвоздями. Этот тип применяется, например, в Ленинграде, на тех улицах, где имеются торцовые мостовые. Основание это наиболее простое и дешевое; ремонт пути обычно совпадает по времени с ремонтом мостовых, и для тех средних условий общего благоустройства, в которых находится большинство русских городов, оно будет наиболее подходящим.

Для линий с интенсивным движением, где обыкновенно применяются торцовые мостовые, следует применить шпальное основание на щебне, для линий с слабым движением, при замощении улицы булыжной мостовой, — шпальное основание на песке.

Необходимо отметить, что, по условиям применения электрической тяги, для пропитки шпал нельзя применять материал, увеличивающий их электропроводность. Вообще, вопрос о пропитке шпал для трамвайных путей в России поднимается лишь в настоящее время, и, исходя из вышеуказанного условия, лучшим материалом явится креозот, а хлористый цинк и медный купорос должны быть исключены, как увеличивающие электропроводность.

Общие соображения о применении типа основания.

Местные условия обычно столь разнообразны, что дать точные правила, в каких случаях нужно применять тот или иной тип основания, невозможно. Выбор наилучшего типа всегда останется привилегией знания, широкого опыта и таланта, но во всяком случае на основании имеющихся опытных данных и теоретических соображений можно дать общую схему, которая облегчит для начинающих решение вопроса о применении того или иного типа при определенных местных условиях. Лично я бы предложил положить в основу степень общего технического благоустройства города и местные условия грунта.

1. В городах высокой степени технического благоустройства с законченной сетью канализации и водопровода, кабелей освещения и телефона, с вполне законченным профилем улиц, замощенных водонепроницаемой мостовой на бетонном основании, следует применять бетонное основание под путь трамвая, причем наилучшим типом будет последний Американский тип, с укладкой пути на шпалах.

2. При тех же общих условиях благоустройства, но при отсутствии сплошного бетонного основания по всей ширине улицы, при замощении водонепроницаемой мостовой из гранитных кубиков и наличии надежного грунта, следует применить укладку путей на щебеночном основании. При больших скоростях ставить при этом анкера и шпалы.

3. В городах со средней степенью благоустройства, где подземные сооружения санитарной техники еще не вполне закончены, следует применять: а) при наличии надежного грунта и водонепроницаемых мостовых — укладку пути на щебеночном основании и б) при слабом грунте и водопроницаемых мостовых — укладку пути на шпальном основании.

4. В городах с малой степенью благоустройства, при наличии булыжных мостовых, наиболее рациональным типом будет шпальное основание.

В зависимости от интенсивности движения и качества грунта будет меняться мощность данного основания:

Щебеночные основания: 1) Движение интенсивное — сплошное основание,
2) Движение среднее — отдельные основания под каждый рельс, при хорошем грунте.

Шпальные основания: 1) Движение интенсивное — балласт щебень,
2) Движение среднее — балласт песок.

Подобным же образом, при данных условиях интенсивности движения и качества грунта, будет меняться и толщина основания.

Как мы уже видели, толщина бетонного основания варьирует в пределах от 200 — 300 мм., толщина щебеночного основания от 250 до 700 мм., толщина слоя балласта под подошвой шпалы при шпальном основании — от 100 мм. до 300 мм.

Для выбора того или другого размера лучшим критерием будут опытные данные существующей дороги при аналогичных условиях интенсивности движения и грунта.

Напряжения в частях верхнего строения.

Точный расчет элементов верхнего строения трамвайных путей не имеет существенного значения, так как, с одной стороны, встречает целый ряд затруднений в виду упругих свойств бетона (непропорциональность деформаций действующим усилиям, значительно меньшие деформации при сжимающих усилиях, чем при растягивающих той же величины), с другой стороны — состав бетона и качество работы имеют решающее значение для его прочности. Поэтому данные практики более надежны и ими следует руководствоваться при выборе размеров частей верхнего строения.

Тем не менее, приближенный подсчет напряжений в частях верхнего строения выясняет влияние действующих усилий и значение размеров отдельных частей, а потому дает некоторый критерий для выбора того или другого типа в различных условиях работы.

Рассматривая для бесшпальных оснований рельс, как упругую балку бесконечной длины, лежащую на упругом основании, можно применить известные формулы строительной механики, причем прочность основания будем считать обеспеченной размерами, взятыми из опытных данных.

Изгибающий момент для рельсов получим:

$$M = \frac{QL}{4}$$

Напряжение в рельсе:

$$R = \frac{M}{W}$$

Давление на основание:

$$p = \frac{Q}{2Lb}$$

Давление на грунт:

$$p_0 = \frac{Q}{2Ld},$$

где L = половине длины абсолютно жесткой балки, эквивалентной по своей работе рельсу:

$$L = \sqrt[4]{\frac{4EJ}{cb}},$$

где: E — модуль упругости рельсовой стали
J — момент инерции рельса

c — коэффициент упругости основания
b — ширина подошвы рельса
d — ширина рабочей площади основания
W — момент сопротивления рельса
Q — нагрузка на колесо.

Для шпальных оснований, принимая размеры шпал установленными из опытных данных, применимы для приближенного расчета формулы Циммермана.

Изгибающий момент для рельса:

$$M = \frac{8\gamma + 7}{4\gamma + 10} \cdot \frac{Q \cdot a}{4}$$

Давление на шпалу:

$$P = \frac{\gamma + 2}{3\gamma + 2} Q, \text{ при } \gamma \leqq 1{,}5$$

$$\text{и } P = \frac{2\gamma + 1}{8\gamma + 1}, \text{ при } \gamma > 1{,}5.$$

Давление на основание:

$$p_1 = \frac{P}{l \times b_1}$$

Давление на грунт:

$$p_0 = \frac{P}{l(b_1 + 2h\ tg\ 30^\circ)},$$

где $\gamma = \frac{B}{D}$; $B = \frac{6EI}{a^3}$

$$D = 0{,}89 \times c \times l \times b.$$

c — коэффициент упругости основания
l — половина длины шпалы
b_1 — ширина подошвы шпалы
a — расстояние между осями шпал
h — толщина основания под шпалой
30° — угол распространения давления в основании
E — модуль упругости рельсовой стали
W — момент сопротивления рельса
Q — нагрузка на колесо.

Пользуясь вышеприведенными формулами, приведем расчет напряжений в рельсе и давлений на основание и на грунт при разных основаниях для одного и того же рельса и той же нагрузки.

$Q = 4.000$ кгр.

$E = 2.100.000 \ \frac{\text{кгр.}}{\text{см}^2}$.

$J = 3.202$ см^4.

$W = 352$ см^3.

$b = 17$ см.

I. Рельсы уложены на грунт, $c = 1,5$

$$L = \sqrt[4]{\frac{4 \times 21 \times 10^5 \cdot 3.202}{1,5 \times 17}} = 180 \text{ см.}$$

$$M = \frac{4.000 \times 180}{4} = 18 \times 10^4.$$

$$R = \frac{18 \times 10^4}{352} = 512 \ \frac{\text{кгр.}}{\text{см}^2}.$$

$$p_0 = \frac{4.000}{2 \times 180 \times 17} = 0,6 \ \frac{\text{кгр.}}{\text{см}^2}.$$

II. Рельсы уложены на щебеночное основание толщиной $h = 25$ см.

$$C = 1,5 \ \frac{17 + (2 \times 25 \times tg\, 30^\circ)}{17} = 4,2$$

$$L = \sqrt[4]{\frac{4 \times 21 \times 10^5 \times 3202}{4,2 \times 17}} = 140 \text{ см.}$$

$$M = \frac{4.000 \times 140}{4} = 14 \times 10^4.$$

$$R = \frac{14 \times 10^4}{352} = 400 \ \frac{\text{кгр.}}{\text{см}^2}.$$

$$p = \frac{4.000}{2 \times 140 \times 17} = 0,84 \ \frac{\text{кгр.}}{\text{см}^2}.$$

$$p_0 = \frac{4.000}{2 \times 140 \times \{17 + (2 \times 25 \times tg\, 30^\circ)\}} = 0,3 \ \frac{\text{кгр.}}{\text{см}^2}.$$

III. То же, при толщине основания $h = 50$ см.

$$C = 1,5 \times \frac{17 + (2 \times 50\, tg\, 30^\circ)}{17} = 6,8.$$

$$L = \sqrt[4]{\frac{4 \times 21 \times 10^5 \times 3.202}{6 \quad 8 \times 17}} = 120 \text{ см.}$$

$$M = \frac{4.000 \times 120}{4} = 12 \times 10^4.$$

$$R = \frac{12 \times 10^4}{352} = 341 \ \frac{\text{кгр.}}{\text{см}^2}.$$

$$p = \frac{4.000}{2 \times 120 \times 17} = 0{,}98 \ \frac{\text{кгр.}}{\text{см}^2}.$$

$$p_0 = \frac{4.000}{2 \times 120 \times (17 + 2 \times 50 \times tg\, 30^\circ)} = 0{,}22 \ \frac{\text{кгр.}}{\text{см}^2}.$$

IV. Бетонное основание шириной 2,4 метра, т.-е. под каждый рельс 120 см.

Принимая, что давление на грунт передается по всей площади основания, получим:

$$C = 1{,}5 \frac{120}{17} = 10{,}6.$$

$$L = \sqrt[4]{\frac{4 \times 21 \times 10^5 \times 3202}{10{,}6 \times 17}} = 110 \text{ см.}$$

$$M = \frac{4.000 \times 110}{4} = 11 \times 10^4.$$

$$R = \frac{11 \times 10^4}{352} = 312 \ \frac{\text{кгр.}}{\text{см}^2}.$$

$$p = \frac{4.000}{2 \times 110 \times 17} = 1{,}07 \ \frac{\text{кгр.}}{\text{см}^2}.$$

$$p_0 = \frac{4.000}{2 \times 110 \times 120} = 0{,}15 \ \frac{\text{кгр.}}{\text{см}^2}.$$

V. Рельсы уложены на шпалах на песчаном основании:

$C = 2{,}50$;

$l = 123$ см.; $a = 80$ см.; $b_1 = 20$ см.; $h = 10$ см.

$$B = \frac{6 \times 21 \times 10^5 \times 3202}{80^3} = 7{,}88 \times 10^4.$$

$$D = 0{,}89 \times 2{,}5 \times 123 \times 20 = 5{,}47 \times 10^3.$$

$$\gamma = \frac{7{,}88}{5{,}72} \times 10 = 11{,}52.$$

$$M = \frac{8 \times 11{,}5 + 7}{4 \times 11{,}5 + 10} \times \frac{4.000 \times 80}{4} = 1{,}77 \times 80 \times 1.000 = 14{,}16 \times 10^4.$$

$$R = \frac{14{,}16 \times 10^4}{352} = 400 \ \frac{\text{кгр.}}{\text{см}^2}.$$

$$P = \frac{2 \times 11.5 + 1}{8 \times 11.5 + 1} \times 4.000 = 0,26 \times 4.000 = 1.040 \text{ кгр.}$$

$$p = \frac{1.040}{123 \times 20} = 0,42 \ \frac{\text{кгр.}}{\text{см}^2.}$$

$$p_0 = \frac{1.040}{123 \times (20 + 2 \times 10 \times 0,6)} = 0,28 \ \frac{\text{кгр.}}{\text{см}^2.}$$

VI. Рельсы уложены на шпалах в щебне:

$$h = 10 \text{ см.}; \quad c = 4 \text{ см.}$$

$$B = 7,88 \times 10^4.$$

$$D = 0,89 \times 4 \times 123 \times 20 = 8,76 \times 10^3;$$

$$\gamma = 9.$$

$$M = \frac{8 \times 9 + 7}{4 \times 9 + 10} \times \frac{4.000 \times 80}{4} = 13,6 \times 10^4.$$

$$R = \frac{13,6 \times 10^4}{352} = 386 \ \frac{\text{кгр.}}{\text{см}^2.}$$

$$P = \frac{2 \times 9 + 1}{8 \times 9 + 1} \times 4.000 = 0,26 \times 4.000 = 1.040.$$

$$p = \frac{1.040}{20 \times 123} = 0,42 \ \frac{\text{кгр.}}{\text{см}^2.}$$

$$p_0 = \frac{1.040}{123 \times (20 + 2 \times 10 \times 0,6)} = 0,18 \ \frac{\text{кгр.}}{\text{см}^2.}$$

Сводка полученных результатов представится в таком виде:

Тип основания	Напряжение в рельсе $R = \frac{M}{W}$	Давление в $\frac{\text{кгр.}}{\text{см}^2.}$	
		на основание	на грунт
Бетонное	312	1,07	0,15
Щебеночное $h = 50$ см.	341	0,98	0,22
Шпалы в щебне	386	0,42	0,18
Шпалы в песке	400	0,42	0,28
Щебеночное $h = 25$ см.	400	0,84	0,30
Грунт	512	—	0,6

Как видно из таблицы, наименьшие напряжения получаются для бетонного и щебеночного основания толщиной 50 см.; для шпальных оснований и щебеночного толщиной 25 см. напряжения почти одинаковы, причем несомненно, что щебеночное основание на шпалах фактически дает меньшие напряжения после уплотнения и будет лучше держать подбивку.

Для получения полной величины напряжений нужно увеличить их на величину, возникающую от действия динамической нагрузки, что обычно представляется в размере 50% от основного напряжения, и прибавить дополнительное напряжение от удлинения при изменении температуры вследствие укладки стыков без зазоров.

Это последнее определяется из следующих соображений.

Удлинение бруса длиной L при действии силы P выражается:

$$\lambda = \frac{P \cdot L}{E \cdot \omega}$$

С другой стороны, напряжение материала:

$$R = \frac{P}{\omega} \quad \text{и} \quad \lambda = \frac{LR}{E}$$

Выражая удлинение, как функцию изменения температуры, получим:

$$\lambda = \alpha t L,$$

откуда:

$$\frac{LR}{E} = \alpha t L \quad \text{и} \quad R = \alpha t E,$$

где λ — удлинение рельса
E — модуль упругости
L — длина бруса
R — напряжение материала
α — коэффициент удлинения
t — изменение температуры
ω — площадь поперечного сечения бруса.

Таким образом, напряжение не зависит в конечном итоге от длины и поперечного сечения рельса.

Принимая коэффициент упругости стали:

$$E = 21 \times 10^5,$$

и коэффициент удлинения:

$$\alpha = 0{,}000012,$$

получим:

$$R = 25\,t.$$

Для климатических условий Ленинграда изменение температуры можно принять в пределах $\pm 35^\circ$ и, считая, что укладка рельса произведена при 0° и что температура рельса вследствие заделки в мостовую равна $75^0/_0$ температуры воздуха, т.-е. 25°,
получим:

$$R = 25 \times 25 = 625 \ \frac{\text{кгр.}}{\text{см}^2}.$$

Тогда полное напряжение рельса выразится:

$$400 \times 1{,}50 + 625 = 1.225 \ \frac{\text{кгр.}}{\text{см}^2}.$$

Из этого подсчета видно, что полное напряжение в рельсах достигает значительной величины, причем напряжение, зависящее от укладки стыков без зазоров, достигает $50^0/_0$ от полной его величины.

Имея в виду, что влияние экипажной езды, особенно грузовых автомобилей, тоже имеет большое значение, мы видим, что применение мощных профилей рельсов при укладке трамвайных путей вполне целесообразно и по условиям их работы.

Оценивая значение укладки стыка без зазоров, необходимо помнить, что удлинение рельса может переходить во внутреннее напряжение рельса лишь тогда, когда рельс не может перемещаться в продольном направлении, в противном случае мы получим явление продольного изгиба и искривление пути.

Условия эти создаются замощением рельсовой колеи, причем трение рельса о мостовую и основание препятствует его перемещению; в случае открытых путей необходимо оставлять зазоры, применяя нормы принятые для железных дорог нормального типа.

ГЛАВА V.

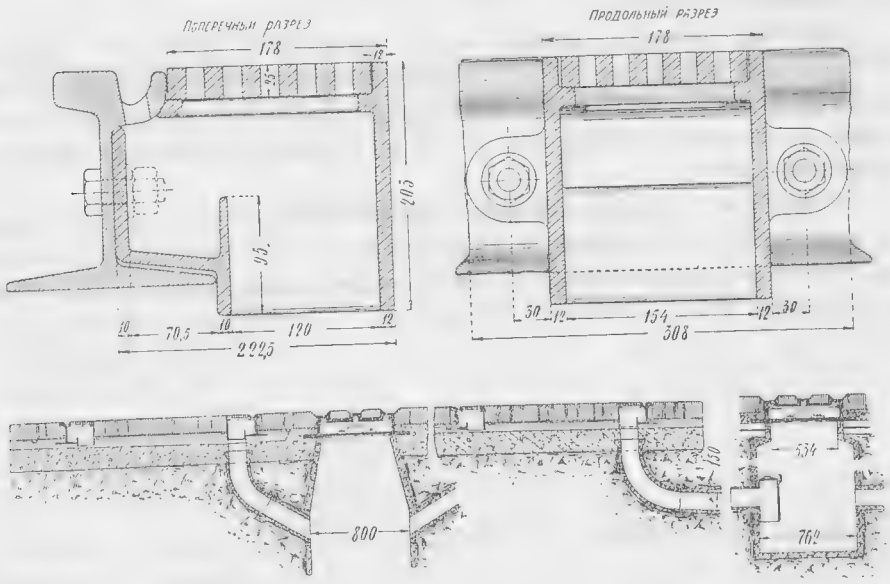
Водоотвод.

Водоотвод от трамвайных путей может быть двух типов:

1) Отвод поверхностных вод из желобов рельсов и

2) Отвод грунтовых вод от основания.

Поверхностные дождевые воды, в зависимости от поперечных уклонов на междопутии и в пределах колеи путей, попадают в желоба рельсов и выводятся из них через отверстия в желобе. В зависимости от типа

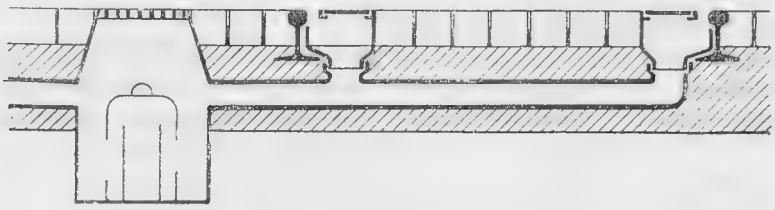


Черт. 121.

Водоотводные коробки при бетонном основании в Ленинграде.

основания вода из отверстия в желобе либо непосредственно выпускается в дренаж под мостовой (этот способ применяется при щебеночном основании и шпальном на щебне и песке), либо отводится посредством специальных водоотводных коробок и трубок в дождевые колодцы канализации.

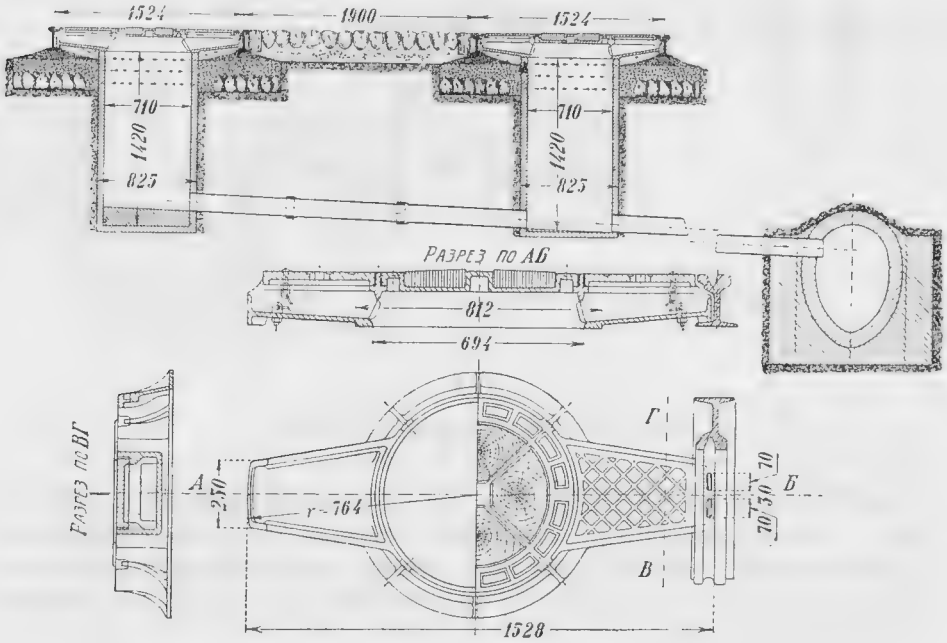
В первом случае вода, попадая в основание, отводится от него поперечными дренажами из щебня к дождевым колодцам. Обычно расстояние между выпускными отверстиями в желобах рельсов применяется от 30



Черт. 122.

Водоотвод с отстойными колодцами на междопутии.

до 40 м., и в этих же местах устраивается поперечный дренаж. В продольном направлении или стараются проектировать пути в виде перемежающихся уклонов и под'емов от 0,002 до 0,005, или устраивают продольные дренажи с уклоном 0,01.



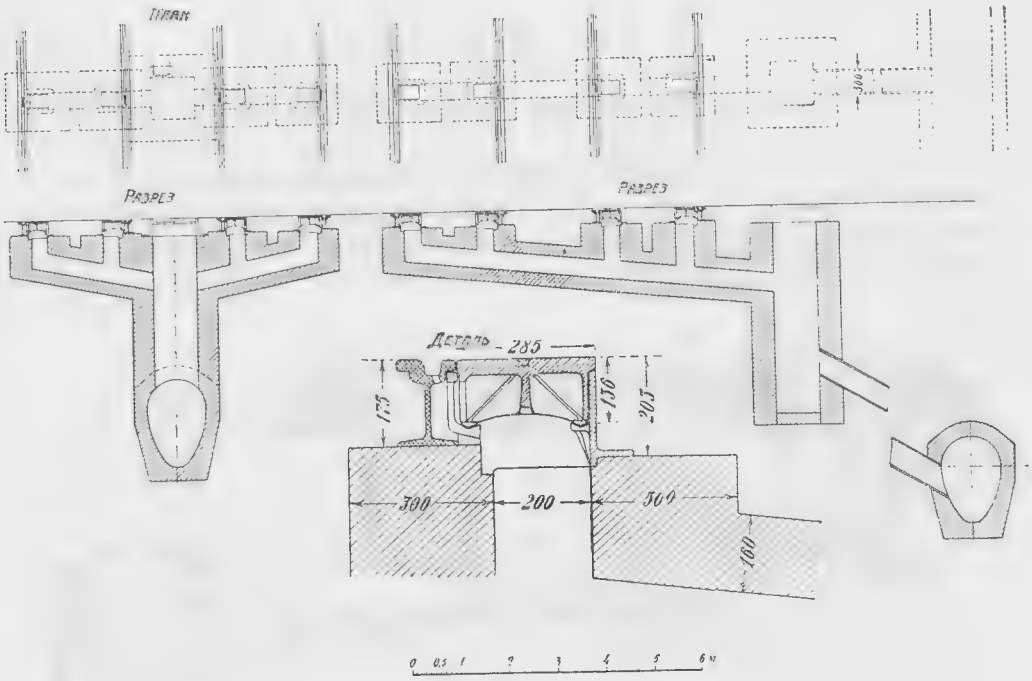
Черт. 123.

Водоотводные коробки, примененные в Москве.

Водоотводные коробки при бетонных основаниях ограждают основание от проникания в него воды и служат водоприемниками, соединенными с трубами. Схема водоотвода этого типа представлена на черт 121.

Как видно из чертежа, вода отводится от коробок керамиковыми трубами в колодцы, расположенные на междопутии или у тротуаров. Коробка имеет небольшой отстойник во избежание засорения труб. Не следует забывать при укладке труб закладывать в них оцинкованную проволоку для возможности последующей очистки.

Указанная схема водоотвода поверхностных вод преобладает в бетонных основаниях и работает хорошо при водонепроницаемых мостовых. Если же мостовые водопроницаемы, то вода скопляется под мостовой



Черт. 124.

Система водоотвода Венского трамвая.

и служит причиной расстройства как мостовых, так и основания. В Ленинграде с целью удаления этой воды были сделаны в бетоне продольные и поперечные канавки, как видно на чертеже, но они быстро засорились и не работали вовсе. Отверстие в желобе, 20 мм. ширины и 116 мм. длины, вполне достаточно.

На черт. 122 представлена схема водоотвода, применяемая в Англии. Здесь в коробках нет отстойников, но имеются на междопутии специальные малые отстойные колодцы, из которых вода отводится в дождевые колодцы канализации.

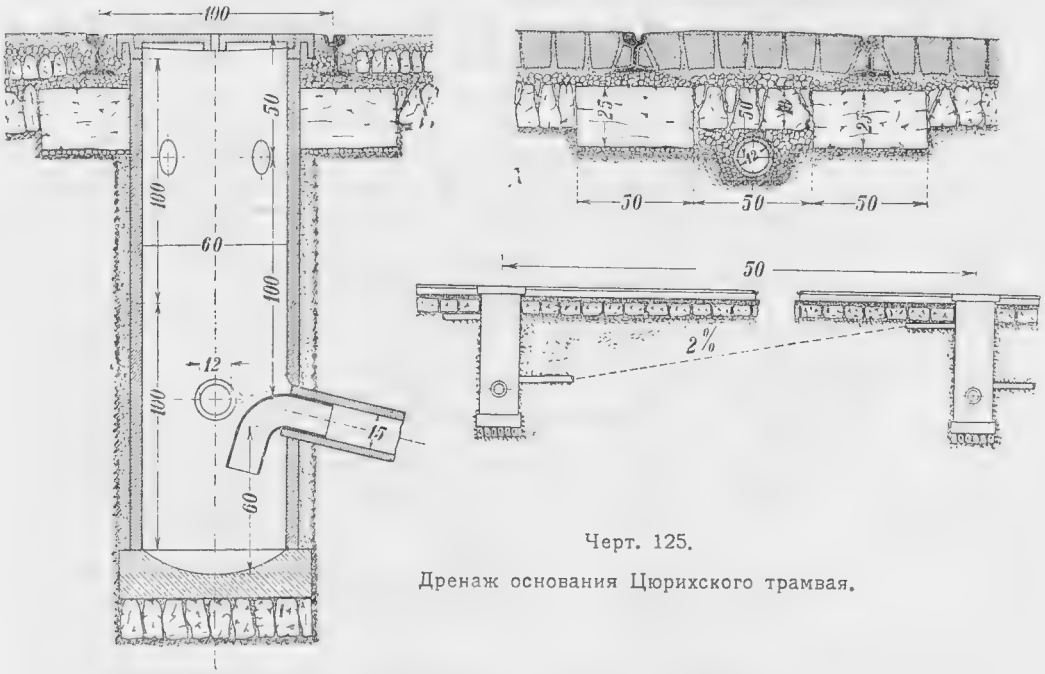
Иногда вместо отдельных коробок у каждого рельса устраивается общая коробка для обоих рельсов одного пути. Коробки этого типа при-

менены в Москве (см. черт. 123). Здесь, как видно из чертежа, имеются отстойные колодцы на каждом пути.

На чертеже 124 представлен водоотвод в трамвайных путях гор. Вены, с устройством набивных бетонных каналов вместо керамиковых труб.

Во всех приведенных типах мы имеем исключительно отвод воды из желобов рельсов с применением водонепроницаемых мостовых.

При выборе того или другого типа необходимо руководствоваться соображениями, как экономическими, так и технической целесообразностью конструкции.



Черт. 125.

Дренаж основания Цюрихского трамвая.

Первое условие хорошей работы это чистота отводящих труб, отсюда вытекает необходимость устройства отстойников, гарантирующих трубы от засорения и обеспечивающих их очистку.

С этой точки зрения устройство специальных отстойных колодцев на междопутии или пути, как в английском и московском типе, является наилучшей конструкцией, но схема эта требует большой затраты денег и потому не всегда выполнима. Поэтому приходится прибегать к менее совершенным, но более дешевым конструкциям, как, например, Ленинградский тип с отстойниками в коробках. При частой очистке коробок водоотвод может работать вполне удовлетворительно.

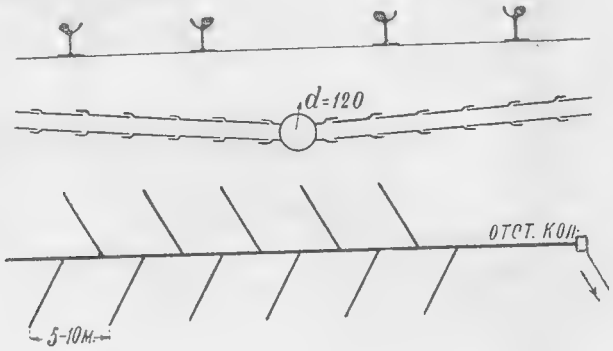
Кроме того, в случае применения керамиковых труб, необходимо изолировать их от возможной разломки при ремонтных работах пути, заде-

лав их в бетон таким образом, чтобы открытые части водоотвода были из чугуна в виде горловин коробок.

Необходимо отметить, что подобный водоотвод должен быть сделан из всех стрелочных коробок замыкателей.

При отсутствии бетонного основания обычно не делают коробок, и вода из отверстий в желобах рельсов выпускается непосредственно в дренажное устройство, отводящее воду от оснований.

На чертеже 125 представлен дренаж основания Цюрихского трамвая, в Швейцарии, посредством дренажных труб и отстойных колодцев. В данном типе осуществлена укладка пути на щебне, при нижнем основании в виде продольных лежней из отдельных крупных камней. По середине пути уложена дренажная труба с 2% уклоном между дренажными отстойными колодцами, находящимися в расстоянии 50 м. друг от друга. Вода из колодцев отводится в дождевые колодцы канализации.



Черт. 126.

Шахматное расположение поперечных дренажных труб.

В приведенном случае продольные дренажные трубы уложены по оси пути; встречается иное расположение труб: продольная труба уложена по оси междопутия, и в нее входят поперечные трубы, расположенные в шахматном порядке (см. черт. 126).

Расстояние между поперечными трубами берется от 5 до 10 м., в зависимости от количества воды. Если подобный дренаж устраивается при щебеночном основании, то дренажные трубы укладываются непосредственно в нижней части основания; если при бетонном основании нет осушения грунта, то обычно под бетон кладут дренирующий слой из щебня и паровозной гари.

Дренажные трубы могут быть заменены дренажами из щебня в виде отдельных канавок, наполненных щебнем и перекрытых во избежание засорения досками. Способ этот дешевле керамиковых или бетонных труб и часто применяется у нас, в России.

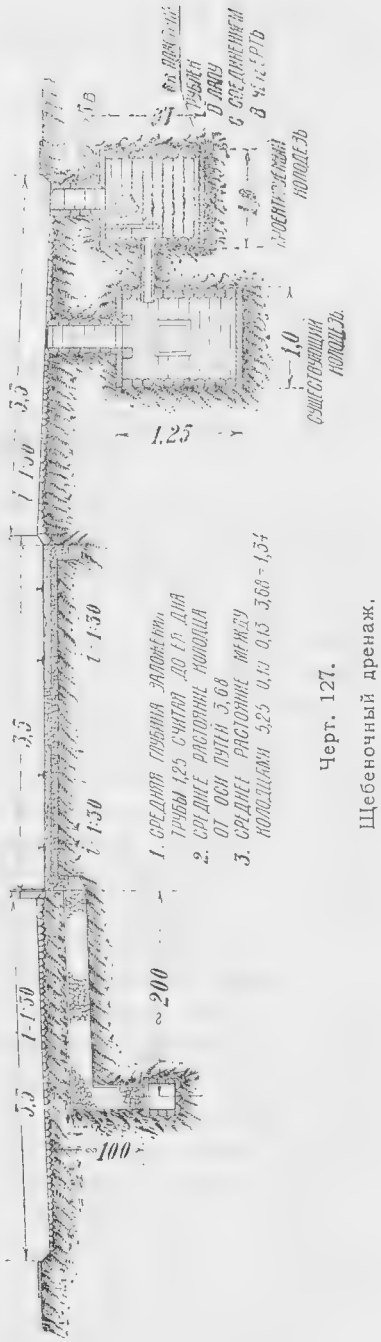
Как пример подобного устройства, приведем отвод воды от путей, уложенных без замощения и с выделением из проезжей части улицы, примененный на Ораниенбаумской эл. жел. дор.

Здесь имеется две системы дренажей: продольный и поперечный. Продольный дренаж собирает воду от основания (см. черт. 127), скопляя ее в пониженных местах, откуда поперечными дренажами она отводится к дождевым или отстойным колодцам канализации.

Дренаж осуществлен в виде канавок сечением 0,15 × 0,02 с., заполненных щебнем. Уклон дренажей от 1% до 2%.

Хороший водоотвод от пути имеет громадное значение для его устойчивости. Любое основание на слабом пропитанном водой грунте будет давать просадки. В главе об основаниях уже было указано, какие последствия влечет за собой отсутствие отвода воды для бетонных оснований. Поэтому при устройстве путей водоотвод является основным вопросом, и только правильное его устройство может обеспечить долговечность основания и устойчивость пути при наименьшем ремонте.

При укладках пути вне улиц, с самостоятельным полотном железнодорожного типа, отвод воды производится обычным методом — открытыми канавами, кюветами вне полотна и дренажами, при наличии подземных вод.



Черт. 127.
Щебеночный дренаж.

ГЛАВА VI.

Кривые.

Трассировка кривых.

Вопрос о проходе подвижного состава по кривым является наиболее сложным в железнодорожном деле. Несмотря на значительное количество теоретических исследований и опытных наблюдений, пока еще нет общих норм. Объясняется это обилием и разнообразием факторов, создающих дополнительные сопротивления при проходе подвижного состава по кривым участкам пути.

Износ рельсов и ходовых частей подвижного состава, а равно и расход энергии при движении, с очевидностью указывают на значительную величину этих дополнительных сопротивлений. Основная цель—уменьшить их до возможного минимума—достигается соответствующими конструкциями подвижного состава и рельсового пути. В частности, для городских и пригородных железных дорог вопрос осложняется малыми радиусами закруглений, применением желобчатых рельсов и разнообразием типов ходовых частей подвижного состава.

В кратком очерке о ходовых частях подвижного состава уже было указано, какими способами стремятся подойти к наилучшему типу и в каких конструкциях вылились последние достижения техники. В настоящей главе дана картина современных воззрений о наилучшем способе укладки пути закруглений.

В настоящее время установлено, что дополнительные сопротивления на кривых являются результатом четырех причин:

1) удара реборд бандажей о головку или губку контр-рельса путевых рельсов, осуществляющих поворот подвижного состава;

2) бокового трения между ребордами бандажей и головками или губками контр-рельсов, как результата защемления колес, по условиям вписывания прямоугольника, образуемого колесами, в кривую рельсовую колею;

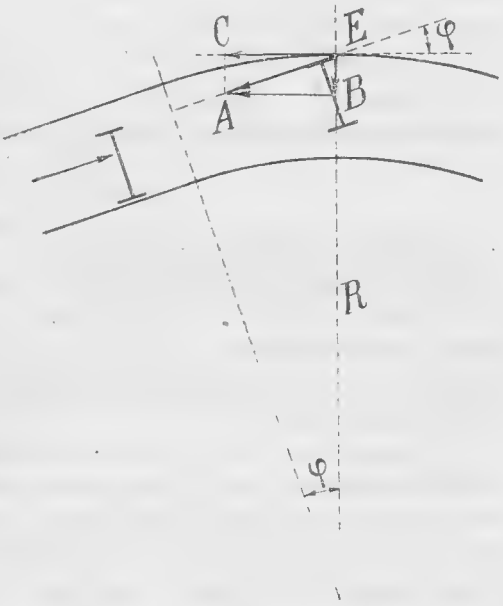
3) перегрузки наружного рельса, как результата центробежной силы;

4) трения скольжения наружного колеса, вследствие большей длины его пробега по наружному рельсу кривого пути.

Рассмотрим отдельно способы уменьшения влияния указанных факторов.

Исследуем движение вагона по кривой радиуса R при укладке виньолевских рельсов без контр-рельсов.

При входе на кривую, (см. черт. 128), вагон стремится двигаться прямолинейно, и наружное колесо его передней оси встречает на своем пути реакцию рельса в точке E; эта реакция A может быть разложена по направлениям касательной и нормали в данной точке кривой на силы C и B; сила B осуществляет поворот вагона и сообщает ему вращательное движение около некоторой вертикальной оси. Чем больше угол удара φ, тем больше угловая скорость вращения вагона и тем больше сила B, т.-е. тем больше толчек, испытываемый вагоном при входе на кривую, и тем больше износ бандажей рельсов.



Черт. 128.

Дополнительное сопротивление движению на кривой.

В целях уменьшения толчка, создающего беспокойную езду и износы, необходимо, чтобы угловая скорость вращательного движения постепенно возрастала от 0 до своей предельной величины. Выражая это условие математически, получим:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} = ct, \quad \ldots \ldots \ldots \quad (1)$$

где ω — угловая скорость,
φ — угловое перемещение,
t — промежуток времени,
c — постоянная величина.

С другой стороны имеем: $v = \frac{ds}{dt}$, ... (2)

где v — скорость поступательного движения,
s — пройденный вагоном путь.

Далее, радиус кривизны в полярных координатах выражается:

$$\rho = \frac{ds}{d\varphi} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

Разделяя второе (2) выражение на первое (1), имеем:

$$\frac{v}{\omega} = \frac{ds}{d\varphi}, \text{ т.-е.}$$

$$\rho = \frac{v}{\omega} = \frac{v}{ct} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

Примем, что радиус кривизны есть величина постоянная, т.-е. кривая представляет дугу круга, тогда из выражения (4) получим:

$$v = \rho\omega = \rho ct = Mt \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

Таким образом, при постоянном радиусе кривой для уменьшения толчка при входе вагона на кривую необходимо, чтобы скорость движения постепенно возрастала от малой начальной скорости, т.-е. должно иметь место равномерно-ускоренное движение при небольшом ускорении (о величине ускорения, зависящего от радиуса кривой, скажем впоследствии).

Отсюда ясно, что при правильной эксплоатации кривые нужно проходить, замедляя скорость при входе и постепенно развивая ее. Очевидно, что правило это почти недостижимо на практике, так как трудно добиться пунктуального исполнения его вагоновожатыми. С другой стороны, замедление скорости на кривых при обилии их отзовется на средней эксплоатационной скорости движения, и посему оно может применяться лишь в особо трудных условиях, где другие способы неприменимы.

Если в выражении (4) принять скорость за величину постоянную, то из (2) получим:

$$v = \frac{s}{t}, \text{ откуда } t = \frac{s}{v}; \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

подставляя в выражении (4) значение t из (6), получим:

$$\rho = \frac{v^2}{cs} = \frac{1}{Ks}, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (7)$$

где K — некоторая постоянная величина.

Из выражения (7) видно, что для плавного движения на кривых при сохранении постоянной скорости необходимо, чтобы очертание кривой отвечало условию обратной пропорциональности радиусов кривизны длинам путей, пройденных вагоном от начала кривой.

Условию этому с разной степенью точности удовлетворяют спираль, лемниската и кубическая парабола. В городских и пригород-

ных железных дорогах почти исключительно применяется спираль, как кривая в наибольшей степени удовлетворяющая основному требованию, что имеет существенное значение в виду укладки кривых малых радиусов.

Спираль.

Обычно кривая трассируется таким образом, что центральная часть ее представляет собой дугу круга определенного радиуса, которая сопрягается с прямыми частями пути кривыми переменного радиуса — переходными кривыми, разбитыми по спирали. При этом, для упрощения расчета и разбивки, спираль заменяется сложной кривой, состоящей из отдельных дуг круга равной длины, радиусы кривизны которых удовлетворяют уравнению спирали.

На черт. 129 изображена подобная кривая. В пределах от A до E мы имеем переходную кривую, состоящую из четырех участков разбитых по дугам круга, а в точке E кривая эта сопрягается с центральной частью, разбитой по дуге круга радиуса R.

Длины дуг $AB = BC = CD = DE = \Delta S$.

Радиусы дуг постепенно убывают по закону обратной пропорциональности длинам кривой от ее начала.

Действительно:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{AB}{AB + BC} = \frac{\Delta S}{2\Delta S} = \frac{1}{2}, \quad R_2 = \frac{R_1}{2};$$

$$\frac{R_3}{R_1} = \frac{\Delta S}{3\Delta S} = \frac{1}{3}, \quad R_3 = \frac{R_1}{3};$$

. . . . . .

$$\frac{R_n}{R_1} = \frac{\Delta S}{n\Delta S} = \frac{1}{n}, \quad R_n = \frac{R_1}{n}.$$

Таким образом, в точках B, C, D, т.-е. в точках сопряжения отдельных дуг, кривая удовлетворяет уравнению спирали.

Разбивка кривой производится по координатам. Расчет их представится в таком виде. Из чертежа 129 имеем следующее соотношение центральных углов, соответствующих дугам ΔS:

$$\alpha_1 = \frac{180^0 \times \Delta S}{\pi R_1} = \frac{180^0 \times \Delta S}{\pi} \cdot \frac{1}{R_1};$$

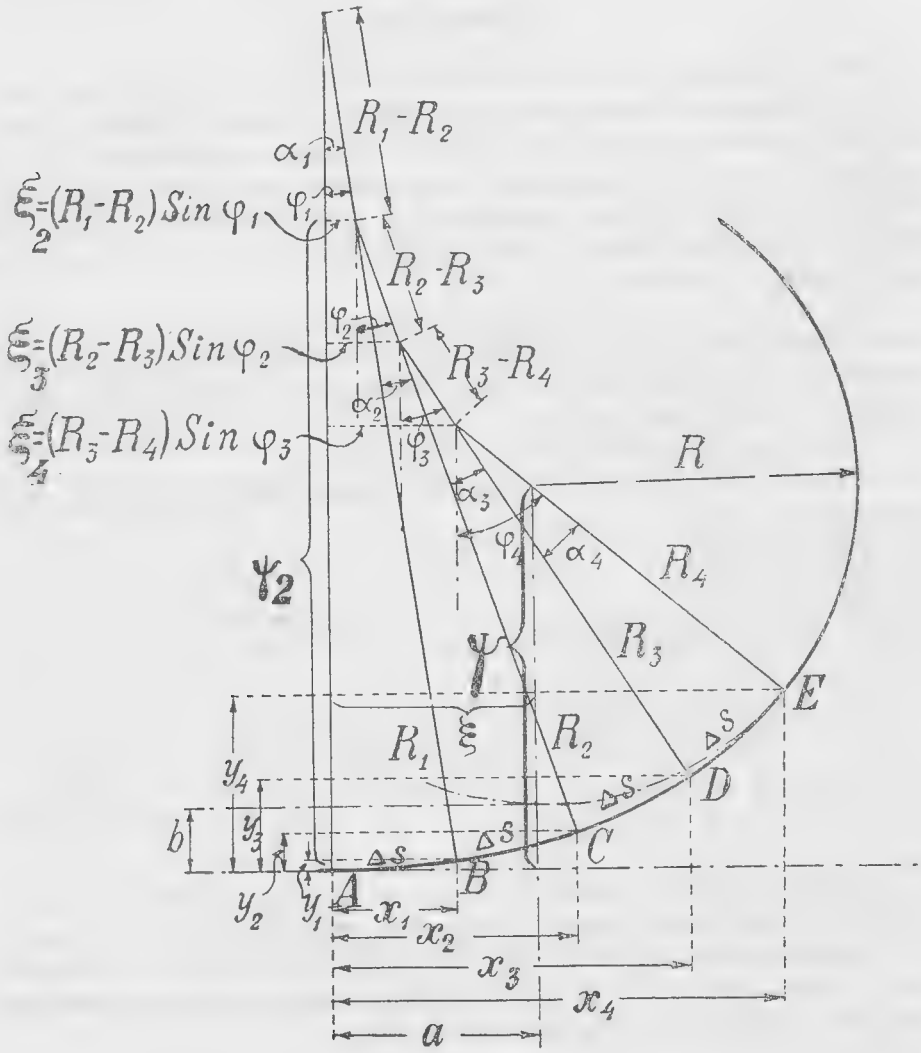
$$\alpha_2 = \frac{180^0 \times \Delta S}{\pi R_2} = \frac{180^0 \times \Delta S}{\pi} \cdot \frac{2}{R_1}, \text{ откуда: } \alpha_2 = 2\alpha_1;$$

. . . . . .

$$\alpha_n = \frac{180^0 \times \Delta S}{\pi R_n} = \frac{180^0 \times \Delta S}{\pi} \cdot \frac{n}{R_1}; \text{ откуда: } \alpha_n = n\alpha_1.$$

Определив α_1, получим остальные углы. В дальнейшем определим углы поворота φ:

$$\varphi_1 = \alpha_1;\ \varphi_2 = \varphi_1 + \alpha_2;\ \varphi_3 = \varphi_2 + \alpha_3 \ldots\ldots\ldots \varphi_n = \varphi_{(n-1)} + \alpha_n = \sum_{i=1}^{i=n} \alpha_i$$



Черт. 129.

Расчетная эпюра сложной кривой.

Зная величины радиусов R и углов φ, получим координаты кривой из следующих выражений:

$$x_1 = R_1\, Sin\,\varphi_1,$$
$$y_1 = R_1 (1 - Cos\,\varphi_1);$$

$$x_2 = (R_1 - R_2)\, Sin\, \varphi_1 + R_2\, Sin\, \varphi_2,$$

$$y_2 = R_1 - (R_1 - R_2)\, Cos\, \varphi_1 - R_2\, Cos\, \varphi_2;$$

. . . . . .

. . . . . .

$$x_n = (R_1 - R_2) Sin\varphi_1 + (R_2 - R_3) Sin\varphi_2 + \ldots + (R_{n-1} - R_n) Sin\varphi_{n-1} + R_n Sin_{\varphi n},$$

$$y_n = R_1 - (R_1 - R_2) Cos\varphi_1 - (R_2 - R_3) Cos\varphi_2 - \ldots (R_{n-1} - R_n) Cos\varphi_{n-1} - R_n Cos\varphi_n$$

или $x_n = x_{n-1} + R_n (Sin\, \varphi_n - Sin\, \varphi_{n-1}),$

$$y_n = y_{n-1} - R_n (Cos\, \varphi_n - Cos\, \varphi_{n-1}),$$

Одновременно определим координаты центров отдельных дуг:

$$\xi_1 = 0,$$

$$\psi_1 = R_1;$$

$$\xi_2 = (R_1 - R_2)\, Sin\, \varphi_1 = \xi_1 + (R_1 - R_2)\, Sin\, \varphi_1,$$

$$\psi_2 = R_1 - (R_1 - R_2)\, Cos\, \varphi_1 = \psi_1 - (R_1 - R_2)\, Cos\, \varphi_1;$$

. . . . . .

. . . . . .

$$\xi_n = \xi_{n-1} + (R_{n-1} - R_n)\, Sin\, \varphi_{n-1}$$

$$\psi_n = \psi_{n-1} - (R_{n-1} - R_n)\, Cos\, \varphi_{n-1}$$

Последние координаты ξ и ψ центра кривой радиуса R могут быть определены и, как функции x и y:

$$\xi = x_4 - R\, Sin\, \varphi_4 = a,$$

$$\psi = y_4 + R\, Cos\, \varphi_4,$$

$$b = \psi - R = y_4 - R\,(1 - Cos\, \varphi_4),$$

где a — есть расстояние от начала переходной кривой до точки касания центральной дуги круга радиуса R к линии, параллельной касательной к переходной кривой в ее начале и отстоящей от нее в расстоянии b.

По этим формулам можно произвести разбивку переходной кривой; что же касается разбивки центральной части, то координаты дуги круга

вычисляются из уравнения круга в координатной системе, расположенной относительно первой при абсциссе a и ординате b:

$$x_5 = a + R\,Sin\,(\varphi_4 + \alpha'_1)$$
$$y_5 = b + R\,[1 - Cos\,(\varphi_4 + \alpha'_1)]$$
$$x_6 = a + R\,Sin\,(\varphi_4 + 2\alpha'_1)$$
$$y_6 = b + R\,[1 - Cos\,(\varphi_4 + 2\alpha'_1)] \text{ и т. д.}$$

На практике, при разбивке кривых обыкновенно встречаются четыре случая:

1) начальные радиусы и все элементы переходной кривой в начале и в конце кривой закругления одинаковы;

2) начальные радиусы и все элементы переходных кривых в начале и в конце ее различны;

3) переходная кривая разбивается лишь с одной стороны закругления;

4) Кривые разбиваются без переходных кривых.

Чаще всего встречается первый случай, который является типовым для всех закруглений.

Второй случай имеет место лишь тогда, когда по условиям трассы не представляется возможным с обеих сторон закругления разбить переходные кривые с одинаковыми начальными радиусами.

Третий случай обычно встречается при ответвлениях пути.

В смысле расчета геометрических элементов наиболее общим является второй случай, и потому с него начнем пояснение разбивки.

Обратимся к черт. № 130. Линия делает поворот под углом Θ, который в то же время является центральным углом кривой. Кривая разбивается с переходными кривыми; от начала кривой в точке A до точки D помещена переходная кривая с начальным радиусом R_1, при угле поворота φ_1; от точки D до точки E разбита кривая по дуге круга радиуса R; от точки E до конца кривой в точке C помещена переходная кривая с начальным радиусом R_2, при угле поворота φ_2.

Задаваясь длиной элемента переходной кривой Δs, можно подсчитать для обеих переходных кривых по формулам указанным выше необходимые для разбивки элементы: углы φ_1 и φ_2, координаты x и y, координаты центров ξ и ψ, а также длины кривых.

Кроме того, необходимо знать расстояния начала и конца кривой от вершины угла, т.-е. тангенсы кривой: $AB = T_1$ и $BC = T_2$.

Из чертежа имеем:

$$T_1 = \xi_1 + \frac{\psi_1}{tg\beta} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

$$T_2 = \xi_2 + \frac{\psi_2}{tg(180^\circ - \Theta - \beta)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

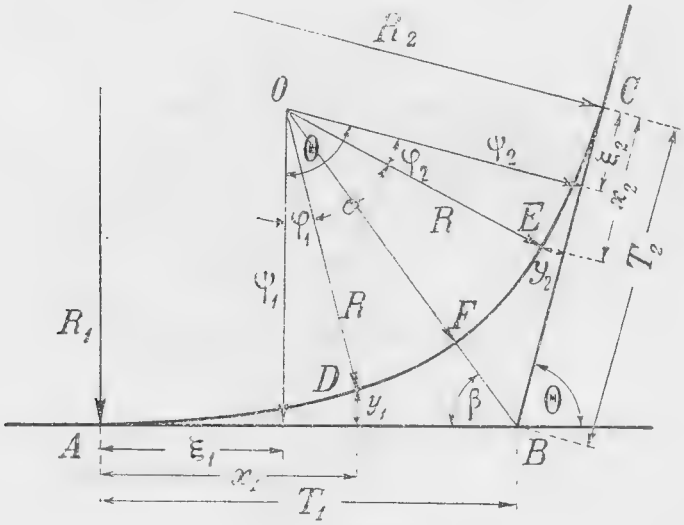
Угол β определим из уравнения:

$$OB = \frac{\psi_1}{Sin\,\beta} = \frac{\psi_2}{Sin\,(180^0 - \Theta - \beta)} = \frac{\psi_2}{Sin\,(\Theta + \beta)},$$ отсюда имеем:

$$\psi_1\, Sin\,(\Theta + \beta) = \psi_2\, Sin\,\beta \text{ или}$$

$$\psi_1\, Sin\,\Theta\, Cos\,\beta + \psi_1\, Cos\,\Theta\, Sin\,\beta = \psi_2\, Sin\,\beta, \text{ т.-е.}$$

$$Sin\,\beta\,(\psi_2 - \psi_1\, Cos\,\Theta) = \psi_1\, Sin\,\Theta\, Cos\,\beta;$$



Черт. 130.

Эпюра разбивки переходной кривой

откуда:

$$\frac{Sin\,\beta}{Cos\,\beta} = \frac{\psi_1\, Sin\,\Theta}{\psi_2 - \psi_1\, Cos\,\Theta} = tg\beta \quad \ldots\ldots \quad (3)$$

Далее имеем:

$$\xi_1 = x_1 - R\, Sin\,\varphi_1;\ \psi_1 = y_1 + R\, Cos\,\varphi_1, \quad \ldots\ldots \quad (4)$$

$$\xi_2 = x_2 - R\, Sin\,\varphi_2;\ \psi_2 = y_2 + R\, Cos\,\varphi_2; \quad \ldots\ldots \quad (5)$$

$$\alpha = \Theta - \varphi_1 - \varphi_2 \text{ и длина кривой } \smile DE = \frac{\pi R \alpha}{180^0} \quad \ldots\ldots \quad (6)$$

Для поверки разбивки обычно определяют хорду AC и биссектрису BF:

$$\text{хорда } AC = \sqrt{T_1^2 + T_2^2 - 2T_1 \,.\, T_2\, Cos\,(180 - \Theta)}; \quad \ldots\ldots \quad (7)$$

$$\text{биссектриса } BF = \frac{\psi_1}{Sin\,\beta} - R \quad \ldots\ldots \quad (8)$$

Определенные элементы позволяют осуществить полную разбивку кривой с ее поверкой.

Таким образом, мы имеем восемь общих основных формул. Посмотрим, какой вид они будут иметь для частных случаев: первого, третьего и четвертого:

1-й случай: $R_2 = R_1$; $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi$.

Тогда $\alpha = \Theta - 2\varphi$; $\beta = 90^0 - \frac{\Theta}{2}$;

$$x_1 = x_2 = x;$$

$$\xi_1 = \xi_2 = \xi;$$

$\psi_1 = \psi_2 = \psi$ и отсюда имеем:

$$T_1 = T_2 = \xi + \frac{\psi}{tg\left(90^0 - \frac{\Theta}{2}\right)} = \xi + \psi tg\,\frac{\Theta}{2};$$

хорда $AC = 2T\,Cos\,\frac{\Theta}{2}$;

биссектриса $BF = \frac{\psi_1}{Cos\,\frac{\Theta}{2}} - R.$

3-й случай: $R_2 = R$: $\varphi_2 = 0$, тогда

$\xi_2 = 0$; $\psi_2 = R$; $\alpha = \Theta - \varphi_1$, отсюда имеем

$$tg\beta = \frac{\psi_1\,Sin\Theta}{R - \psi_1 Cos\Theta}$$

$$T_1 = \xi_1 + \frac{\psi_1}{tg\,\beta}$$

$$T_2 = \frac{R}{tg(\Theta + \beta)};$$

хорда $AC = \sqrt{T_1^2 + T_2^2 - 2T_1T_2Cos\,(180 - \Theta)}$;

биссектриса $BF = \frac{\psi_1}{Sin\,\beta} - R.$

4-й случай: $R_1 = R_2 = R$; $\varphi_1 = \varphi_2 = 0$, тогда

$\xi_1 = \xi_2 = 0$; $\psi_1 = \psi_2 = R$; $\alpha = 0$; $\beta = 90 - \frac{\Theta}{2}$

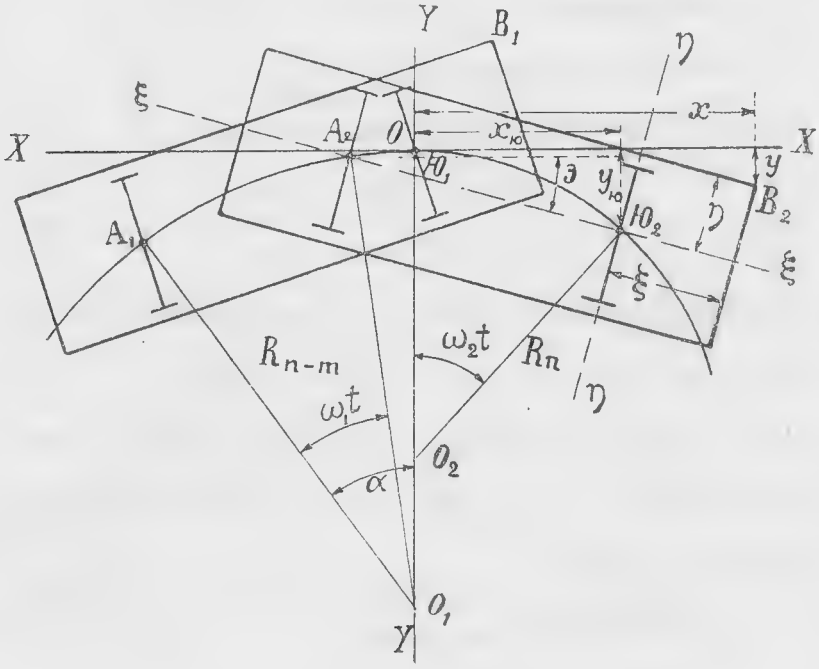
тогда $T_1 = T_2 = Rtg\,\frac{\Theta}{2}$;

хорда $AC = 2T\,Cos\,\frac{\Theta}{2} = 2R\,Sin\,\frac{\Theta}{2}$;

биссектриса $BF = \frac{R}{Cos\,\frac{\Theta}{2}} - R.$

Этими четырьмя случаями исчерпываются все возможные приемы разбивки кривых на практике. Раньше, чем демонстрировать расчет численным примером, укажем метод определения величины начального радиуса переходной кривой и длины Δs отдельных дуг, из которых состоит переходная кривая.

Выше уже было указано, что угол удара и угловая скорость зависят от величины скорости поступательного движения вагона и величины начального радиуса кривой.



Черт. 131.

Геометрич. эпюра движения вагона по переходной кривой.

Было уже отмечено, что для плавного движения по кривой необходимо, чтобы ускорение крайней точки вагона B возрастало с постоянным приращением $\Delta\dot{v} = Const$, и чтобы начальное ускорение не превышало допускаемых норм. Для электрических трамваев можно принять $\dot{v}_1 \leqq 0{,}3\ m/s^2$.

Для установления зависимости между скоростью движения вагона v, ускорением $\dot{v}$ и радиусом кривой R, рассмотрим наиболее общий случай, т.-е. переход вагона с кривой дуги круга радиуса R_{n-m} на кривую дуги круга радиуса R_n, как представлено на чертеже 131.

Как видно из чертежа, кривая состоит из двух дуг круга радиуса R_n и R_{n-m}, сопрягающихся в точке 0; неподвижную систему прямоугольных координат с центром 0 выбираем так, что ось XX совпадает с каса-

тельной к кривой в точке 0; центр подвижной системы координат совпадает с центром передней оси вагона в точке $Ю$; ось абсцисс $\xi\xi$ совпадает с продольной осью вагона.

За промежуток времени t вагон перемещается из положения $A_1Ю_1$ в положение $A_2Ю_2$.

Введем следующие обозначения:

скорость движения вагона . . . . . v м/s

угловая скорость . . . . . $\omega = \frac{v}{R}$

абсолютное ускорение точки B . . . . . $\dot{v}$ м/s^2

Уравнение движения точки B напишется так:

$$x = x_{ю} + \xi \, Cos\, э + \eta \, Sin\, э,$$

$$y = y_{ю} + \xi \, Sin\, э - \eta \, Cos\, э,$$

где $э$ — величина переменного угла между осями координат XX и $\xi\xi$.

Проекции ускорения $\dot{v}$ на оси XX и $УУ$ будут:

$$\dot{v}\, Cos \mid \dot{v}x \mid = x''_{ю} - (э')^2 (\xi \, Cos\, э + \eta \, Sin\, э) - э'' (\xi \, Sin\, э - \eta \, Cos\, э),$$

$$\dot{v}\, Cos \mid \dot{v}y \mid = y''_{ю} - (э')^2 (\xi \, Sin\, э - \eta \, Cos\, э) + э'' (\xi \, Cos\, э + \eta \, Sin\, э).$$

Из чертежа имеем:

$$x_{ю} = R_n \, Sin\, (\omega_2 t)$$

$$y_{ю} = R_n (1 - Cos\, \omega_2 t);$$

тогда:

$$x'_{ю} = R_n \omega_2 \, Cos\, \omega_2 t \quad \text{и} \quad x''_{ю} = - R_n \omega^2_2 \, Sin\, \omega_2 t;$$

$$y'_{ю} = R_n \omega_2 \, Sin\, \omega_2 t \quad \text{и} \quad y''_{ю} = R_n \omega^2_2 \, Cos\, \omega_2 t.$$

Далее имеем:

$$э = arc\, Sin \left(\frac{R_{n-m} \, Cos\, (\alpha - \omega_1 t)}{l} - \frac{R_n \, Cos\, \omega_2 t}{l} - \frac{R_{n-m} - R_n}{l} \right)$$

$$э' = \frac{-\frac{R_{n-m}}{l} \omega_1 \, Sin\, (\alpha - \omega_1 t) + \frac{R_n}{l} \omega_2 \, Sin\, \omega_2 t}{\sqrt{1 - \left(\frac{R_{n-m} \, Cos\, (\alpha - \omega_1 t)}{l} - \frac{R_n \, Cos\, \omega_2 t}{l} - \frac{R_{n-m} - R_n}{l} \right)^2}}$$

$$э'' = \left\{ -\frac{R_{n-m}}{l}\,\omega_1^2 \,Cos\,(\alpha - \omega_1 t) + \frac{R_n}{l}\,\omega_2^2\,Cos\,\omega_2 t \right\} \times$$

$$\times \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{R_{n-m}}{l}\,Cos\,(\alpha - \omega_1 t)\,\frac{R_n}{l}\,Cos\,\omega_2 t - \frac{R_{n-m} - R_n}{l} \right)^2}}{1 - \left(\frac{R_{n-m}\,Cos\,(\alpha - \omega_1 t)}{l} - \frac{R_n\,Cos\,\omega_2 t}{l} - \frac{R_{n-m} - R_n}{l} \right)^2} -$$

$$- \left(-\frac{R_{n-m}}{l}\,\omega_1\,Sin\,(\alpha - \omega_1 t) + \frac{R_n}{l}\,\omega_2\,Sin\,\omega_2 t \right) \times$$

$$\times - \frac{\omega_1 \frac{R_{n-m}}{l}\,Sin\,(\alpha - \omega_1 t) - \omega_2 \frac{R_n}{l}\,Sin\,\omega_2 t}{2\sqrt{1 - \left(\frac{R_{n-m}}{l}\,Cos\,(\alpha - \omega_1 t) - \frac{R_n}{l}\,Cos\,\omega_2 t - \frac{R_{n-m} - R_n}{l} \right)^2}} =$$

$$= \frac{\left\{ -\frac{R_{n-m}}{l}\,\omega_1^2\,Cos\,(\alpha - \omega_1 t) + \frac{R_n}{l}\,\omega_2^2\,Cos\,\omega_2 t \right\}}{\left\{ 1 - \left(\frac{R_{n-m}}{l}\,Cos\,(\alpha - \omega_1 t) - \frac{R_n}{l}\,Cos\,\omega_2 t - \frac{R_{n-m} - R_n}{l} \right)^2 \right\}^{3/2}} +$$

$$+ \frac{\left\{ -\frac{R_{n-m}}{l}\,\omega_1^2\,Sin\,(\alpha - \omega_1 t) + \frac{R_n}{l}\,\omega_2^2\,Sin\,\omega_2 t \right\}^2}{\left\{ 1 - \left(\frac{R_{n-m}}{l}\,Cos\,(\alpha - \omega_1 t) - \frac{R_n}{l}\,Cos\,\omega_2 t - \frac{R_{n-m} - R_n}{l} \right)^2 \right\}^{3/2}}.$$

Ускорение $\dot{v}$ будет иметь максимальное значение при $t = 0$; тогда $\omega_1 t = 0$; $\omega_2 t = 0$, и принимая по малости угла $\alpha = 0$, мы получим:

$$x''_{ю} = 0;$$

$$y''_{ю} = R_n\,\omega_2^2$$

$$э' = 0;$$

$$э'' = -\frac{R_{n-m}}{l}\,\omega_1^2 + \frac{R_n}{l}\,\omega_2^2$$

$$|\dot{v}\,Cos(\dot{v}_1 x)|_{t=0} = -\left\{ \frac{R_{n-m}}{l}\,\omega_1^2 - \frac{R_n}{l}\,\omega_2^2 \right\} \eta = v^2\,\frac{\eta}{l} \left\{ -\frac{1}{R_{n-m}} + \frac{1}{R_n} \right\}$$

$$|\dot{v}Cos(\dot{v}y)|_{t=0} = R_n\omega_2^2 + \xi \left\{ -\frac{R_{n-m}}{l}\omega_1^2 + \frac{R_n}{l}\omega_2^2 \right\} = \frac{v^2}{R_n} + v^2\,\frac{\xi}{l} \left\{ -\frac{1}{R_{n-m}} + \frac{1}{R_n} \right\}$$

$$|\dot{v}|_{R_{n-m}}^{R_n} = v^2 \sqrt{\left\{ \frac{1}{R_n} + \frac{\xi}{l} \left(-\frac{1}{R_{n-m}} + \frac{1}{R_n} \right) \right\}^2 + \left(\frac{\eta}{l} \right)^2 \left(-\frac{1}{R_{n-m}} + \frac{1}{R_n} \right)^2}$$

Пренебрегая значением $(\eta/l)^2$ и заменяя R_{n-m} и R_n их значениями $R_{n-m}=\frac{R_1}{n-m}$ и $R_n=\frac{R_1}{n}$, где $m=\frac{l}{\Delta s}$, получим:

$$[\dot{v}]_{R_n\ m}^{R_n}=\frac{v^2}{R_1}\left(n+m\frac{\xi}{l}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \text{I.}$$

Если $n=m$ и $R_0=\infty$, то мы имеем второй случай движения, когда вагон с прямого участка пути переходит на кривой по дуге круга радиуса R_n, тогда формула (1) получит вид:

$$[\dot{v}]_{\infty}^{R_n}=n\frac{v^2}{R_1}\left(1+\frac{\xi}{l}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \text{II.}$$

Формула эта будет иметь место от $n=1$ до $n=m$, а далее применима формула I.

Если $R_{n-m}=R_n$, то обе оси вагона будут находиться на кривой по дуге радиуса R_n, и мы будем иметь:

$$[\dot{v}]_{R_n}^{R_n}=n\frac{v^2}{R_1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \text{III.}$$

Поясним расчет и разбивку переходной кривой частным примером. Положим, что местные условия плана города столь благоприятны, что минимальный радиус центральной части кривой можно принять:

$$R=25{,}00 \text{ м.},$$

скорость движения в центральных частях города дана:

$$v=20\frac{\text{клм.}}{\text{ч.}}=5{,}56\frac{\text{м.}}{\text{с.}};$$

ускорение задано, $\dot{v}=0{,}5\frac{\text{м.}^2}{\text{с.}^2}$.

Определим начальный радиус переходной кривой по формуле (II)

$$R_1=n\frac{v^2}{\dot{v}}\left(1+\frac{\xi}{l}\right)$$

Примем, что длина вагона $L=9{,}00$ м.; ширина вагона $2\eta=2{,}00$ м.; база вагона $l=3{,}00$ м.;

$$\text{тогда: } \xi=\frac{L-l}{2}=3{,}00 \text{ м. и } \frac{\xi}{l}=1;$$

для начального радиуса получим

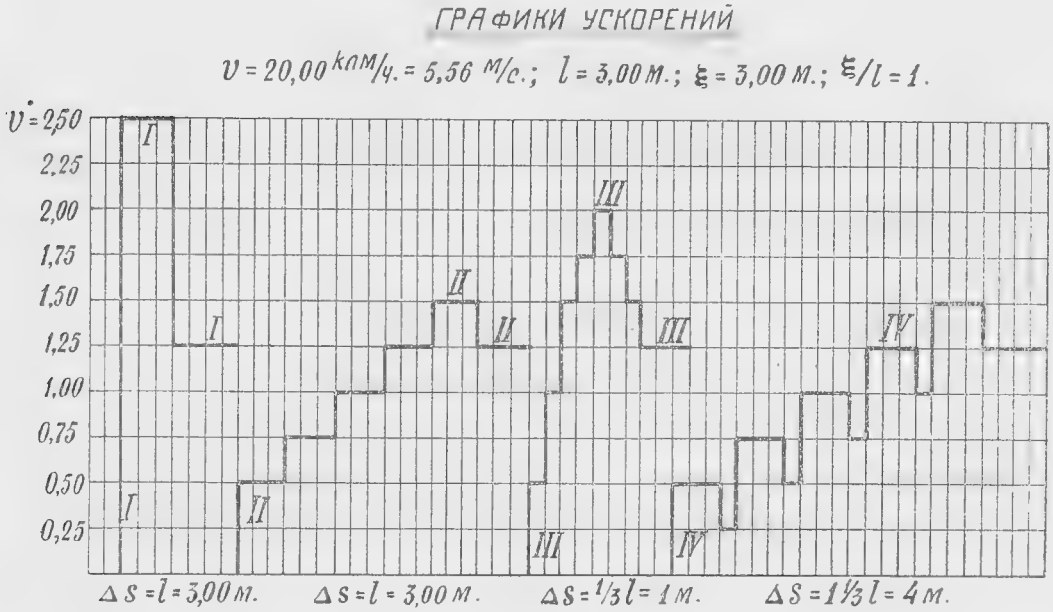
$$R_1=\frac{5{,}56\times5{,}56}{0{,}5}\sqrt{2}=125{,}6 \text{ м.} \approx 125{,}00 \text{ м.}$$

Последующие радиусы определяются по закону кривой:

$$R_n = \frac{R_1}{n}; \text{ тогда } R_2 = \frac{125}{2} = 62{,}5 \text{ м.}; \; R_3 = \frac{125}{3} = 41{,}67 \text{ м.}$$

$$R_4 = \frac{125}{4} = 31{,}25 \text{ м.}; \; R_5 = \frac{125}{5} = 25{,}00 \text{ м.}$$

Для выбора длины элемента переходной кривой Δs могут служить следующие соображения:



Черт. 132.

Графики ускорения.

1) Чем больше длина Δs, тем длиннее переходная кривая, тем больше углы α и φ, а, следовательно, тем больше длина тангенсов и биссектрисы, вследствие чего кривая может не поместиться в пределах ширины улицы и оказаться на тротуаре. Поэтому для центральных частей города обычно принимают $\Delta s \leq 1{,}00$ м.

2) Для плавности движения, которое обуславливается постоянством величины приращения ускорения, $\Delta \dot{v} = Const$, необходимо, чтобы $\Delta s \leq l$; причем, если $\Delta s < l$, то наилучшая кривая соответствует тому случаю, когда $\Delta s = \frac{l}{m}$, т.-е. когда длина базы вагона l есть кратная от длины элемента.

Значение переходной кривой и длины элемента Δs лучше всего определяется сравнением графиков ускорений в различных предположениях. На чертеже 132 представлены четыре графика, а именно:

График I построен в том предположении, что переходной кривой нет, и начальный радиус кривой $R_1 = 25{,}00$ м.

Тогда по формуле II $[\dot{v}]_{R=\infty}^{R_n} = n\frac{v^2}{R_1}\left(1+\frac{\xi}{l}\right)$ получим:

$$[\dot{v}]_{R=\infty}^{R_{n=25}} = 1 \cdot \frac{5{,}56^2}{25} \cdot \left(1+1\right) = 2{,}47 \ \frac{\text{м}}{\text{с}^2};$$

$$[\dot{v}]_{R_{n-m}=25}^{R_n=25} = 5 \cdot \frac{5{,}56^2}{125} = 1{,}25 \ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

График II: $l = \Delta S = 3{,}00$ м.; $m = \frac{l}{\Delta S} = 1$; $\frac{\xi}{l} = 1$.

Значения $\dot{v}$ приведены в таблице.

ТАБЛИЦА

ускорений для графика II.

№№	$n-m$	n	R_{n-m}	R_n	$\dot{v}=n\frac{v^2}{R_1}\left(1+\frac{\xi}{l}\right)$	$\dot{v}=\frac{v^2}{R_1}\left(n+m\frac{\xi}{l}\right)$	$\dot{v}=n\frac{v^2}{R_1}$	$\Delta\dot{v}$
1	0	1	∞	125,00	0,50	—	—	
								0,25
2	1	2	125,00	62,50	—	0,75	—	
								0,25
3	2	3	62,50	41,67	—	1,00	—	
								0,25
4	3	4	41,67	31,25	—	1,25	—	
								0,25
5	4	5	31,25	25,00	—	1,50	—	
								— 0,25
6	5	5	25,00	25,00	—	—	1,25	—

График III. $\Delta S = \frac{l}{m} = 1{,}00$ м.; $m = 3$; $\frac{\xi}{l} = 1$;

Значения v приведены в таблице.

ТАБЛИЦА

ускорений для графика III.

№№	$n-m$	n	R_{n-m}	R_n	$\dot{v}=n\frac{v^2}{R_1}\left(1+\frac{\xi}{l}\right)$	$\dot{v}=\frac{v^2}{R_1}\left(n+m\frac{\xi}{l}\right)$	$\dot{v}=n\frac{v^2}{R_1}$	$\Delta\dot{v}$
1	—2	1	∞	125,00	0,50	—	—	
								0,50
2	—1	2	∞	62,50	1,00	—	—	
								0,50
3	0	3	∞	41,67	1,50	—	—	
								0,25
4	1	4	125,00	31,25	—	1,75	—	
								0,25
5	2	5	62,50	25,00	—	2,00	—	
								—0,25
6	3	5	41,67	25,00	—	1,75	—	
								—0,25
7	4	5	31,25	25,00	—	1.50	—	
								—0,25
8	5	5	25,00	25,00	—	—	1,25	—

График IV. $\Delta S = 1^1/_3 l$; $m = \frac{l}{\Delta S} = 0{,}75$; $\frac{\xi}{l} = 1$; $\Delta S > \Delta l$.

Значения $\dot{v}$ приведены в таблице.

ТАБЛИЦА

ускорений для графика IV.

№№	m	n	R_{n-m}	R_n	$\dot{v}=n\frac{v^2}{R_1}\left(1+\frac{\xi}{l}\right)$	$\dot{v}=\frac{v^2}{R_1}\left(n+m\frac{\xi}{l}\right)$	$\dot{v}=\frac{v^2}{R_1}n$	$\Delta\dot{v}$
1	—	1	∞	125,00	0,50	—	—	
								—0,25
2	—	1	125,00	125,00	—	—	0,25	
								0,50
3	—	2	125,00	62,50	0,75	—	—	
								—0,25
4	—	2	62,50	62,50	—	—	0,50	
								0,50
5	—	3	62,50	41,67	1,00	—	—	
								—0,25
6	—	3	41,67	41,67	—	—	0,75	
								0,50
7	—	4	41,67	31,25	1,25	—	—	
								—0,25
8	—	4	31,25	31,25	—	—	1,00	
								0,50
9	—	5	31,25	26,00	1,50	—	—	
								—0,25
10	—	5	25,00	25,00	—	—	1,25	—

Из рассмотрения и сравнения графиков видно, что:

1) Вставка переходной кривой, с начальным радиусом $R_1 = 125{,}00$ м., в пять раз уменьшает величину начального ускорения, а следовательно, и толчок при входе вагона на кривую со всеми его последствиями.

2) Лучшая переходная кривая (см. график II), у которой длина элемента равна длине базы вагона $\Delta s = l$; она дает наиболее плавный проход подвижного состава по кривой.

3) Кривые, в которых $\Delta s = \frac{l}{m}$ (см. график III), дают менее плавное движение.

4) Кривые, в которых $\Delta s > l$ (см. график IV), дают уступчатый график, с периодическим изменением $\Delta \dot{v}$, как по обсолютной величине, так и по знаку, и потому не применяются.

5) Максимум ускорения при входе вагона на центральную часть кривой достигает $\dot{v} = 1{,}5$ м/с^2 для графика II и $\dot{v} = 2{,}00$ м/с^2 для графика III и далее, при движении вагона по центральной части кривой, ускорение $\dot{v} = 1{,}25$ м/с^2. Так как от величины конечного ускорения зависит плавность движения, то необходимо ограничить ее определенным максимумом, — а именно: $\dot{v} \leqq 1{,}5$ м/с^2 или, в крайнем случае, $\dot{v} \leq 2{,}0$ м/с^2.

В конечном итоге, исходя из допустимых максимумов, $\dot{v}_1 \leqq 0{,}5$ м/с^2 и $\dot{v} \leqq 1{,}5$ м/с^2, мы для данной скорости ограничиваем переходную кривую определенным количеством элементов $n = 5$, и отсюда, как следствие, получим в зависимости от величины радиуса R несколько переходных кривых. На практике, с целью уменьшения количества эпюр, одна и та же переходная кривая применяется для группы радиусов.

Для городских линий в силу недостатка места обычно применяют кривые при $\Delta s = \frac{l}{m}$; для пригородных железных дорог — $\Delta s = l$.

При этом, для вагонов с двухосными тележками можно принять l равным расстоянию между центрами тележек.

Возвращаясь к нашему примеру, зададимся длиной дуги элемента:

$$\Delta S = \frac{l}{3} = 1{,}00 \text{ м.}$$

$$\text{Тогда угол } \alpha = \frac{180^\circ \times 1{,}00}{\pi \times 125} = 27'16'' \cong 30';$$

$$\text{исправленная } \Delta S = \frac{\pi . 125 \times 30'}{180} = 1{,}09 \text{ м.}$$

Элементы переходной кривой, подсчитанные по вышеприведенным формулам, даны в таблице.

ТАБЛИЦА I

элементов переходной кривой.

Внутренний рельс												Наружный рельс		
R	α	φ	$Sin\,\varphi$	$Cos\,\varphi$	$1-Cos\varphi$	x	y	ξ	ψ	ΔS	$\Sigma\Delta S$	R	ΔS	$\Sigma S\Delta$
125,00	30′	30′	0,00872	0,99996	0,00004	1,09	0,005	125,00	0,00	1,09	1,09	126,00	1,099	1,099
62,50	1°	1°30′	0,02617	0,99965	0,00035	2,18	0,024	0,545	62,503	1,09	2,18	63,50	1,107	2,206
41,67	1°30′	3°	0,05233	0,99862	0,00138	3,27	0,067	1,090	41,676	1,09	3,27	42,67	1,116	3,322
31,25	2°	5°	0,08715	0,99619	0,00381	4,36	0,143	1,635	31,273	1,09	4,36	32,25	1,123	4,445
25,00	—	—	—	—	—	—	—	2,361	25,047	—	—	26,00	—	—

Формулы для вычисления координат x, y, ξ и ψ можно представить в упрощенном виде:

$$x_1 = R_1\ Sin\varphi_1$$

$$y_1 = R_1\ (1 - Cos\varphi_1)$$

. . . . . .

. . . . . .

$$x_n = x_{n-1} + R_n (Sin\,\varphi_n - Sin\,\varphi_{n-1})$$

$$y_n = Y_{n-1} + R_n\ (Cos\,\varphi_{n-1} - Cos\,\varphi_n)$$

$$\xi_n = \xi_{n\ \ 1} + (R_{n-1} - R_n)\ Sin\,\varphi_{n-1}$$

$$\psi_n = \psi_{n-1} - (R_{n-1} - R_n)\ Cos\,\varphi_{n-1}$$

Имея элементы переходной кривой, не представляет затруднений разбить кривую для данного угла поворота линии (см. черт. 133).

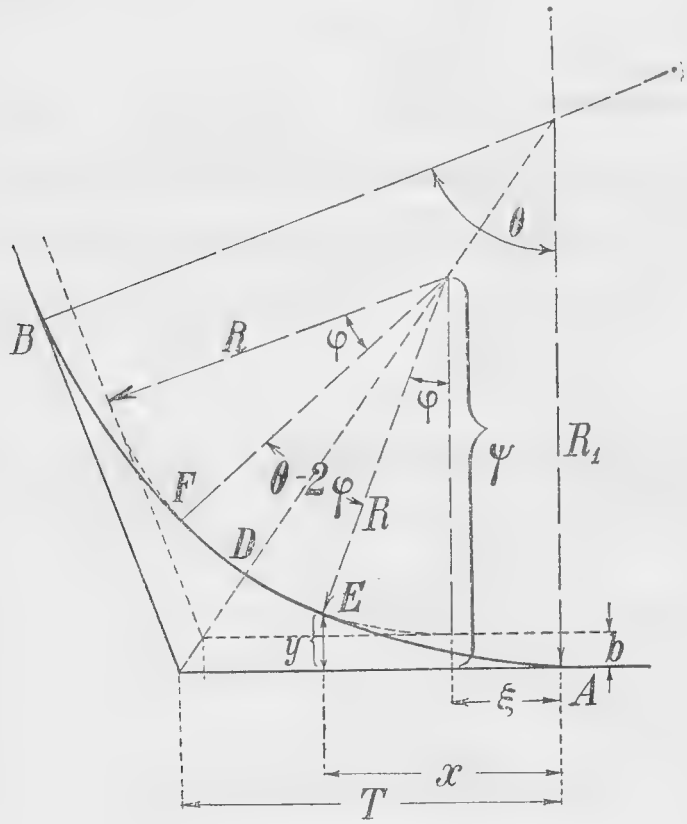
Положим $\angle\,\Theta = 85°$; $R_1 = 125$ м.; $R = 25$ м., и применена переходная кривая по вышеприведенной таблице.

Определяем тангены:

$$T = \xi + \psi tg\,\frac{\Theta}{2} = 2{,}361 + 25{,}047 \times tg\,42^\circ 31' = 25{,}314 \text{ м.}$$

$$\varphi = 5^\circ; \quad \Theta - 2\varphi = 75^\circ;$$

Хорда $AB = 2T Cos\,\frac{\Theta}{2} = 2 \times 25{,}314 \times Cos\,42^\circ 30' = 37{,}313$ м.



Черт. 133.

Эпюра разбивки переходной кривой.

Биссектриса $CD = \frac{\psi}{Cos\,\frac{\Theta}{2}} - R = \frac{25{,}047}{Cos\,42^\circ 30'} - 35 = 8{,}985$ м.

Длина кривой по внутренней нитке:

$$K_{вн.} = 2\,к'_в + к''_в = 2 \times 4{,}36 + \frac{\pi \times 25 \times 75^\circ}{180^\circ} = 41{,}43 \text{ м.}$$

Длина кривой по наружной нитке:

$$K_{нар} = 2к'_{н.} + к''_{н.} = 2 \times 4{,}445 + \frac{\pi\ 26 \times 75}{180^0} = 43{,}25 \text{ м.}$$

Разбивка переходных кривых AE и BF производится по координатам x и y из таблицы; центральная часть круга, $R = 25{,}00$ м., в пределах EF разбивается по координатам круга, вычисленным по формулам:

$$y' = R - \sqrt{R^2 - x'^2},$$

при чем x' дают постоянное приращение:

$$\Delta x' = 1{,}00 \text{ м.}$$

Тогда получим:

$$x_1' = x_4 - \xi + 1{,}00 = 4{,}36 - 2{,}36 + 1{,}00 = 3{,}00 \text{ м.}$$

$$y_1' = 25 - \sqrt{25^2 - 3^2} = 0{,}227 \text{ м.}$$

Исправленные координаты, считая от начала кривой A, будут:

$x_5 = x_1' + \xi = 5{,}36$ и $y_5 = y_1' + b$, где $b = \psi - R = 25{,}047 - 25{,}00 = 0{,}047$

$$y_5 = y_1' + b = 0{,}227 + 0{,}047 = 0{,}274 \text{ м.}$$

Максимум x, до которого нужно вести разбивку,

$$x_{max} = T - CD Sin \frac{\Theta}{2} = 25{,}314 - 8{,}985 \times Sin\ 42^\circ 30' = 19{,}21 \text{ м.}$$

т. е. расчетное $x'_{max} = 19{,}31 - 2{,}36 = 16{,}85$ м.

Из приведенного примера ясен весь ход расчета.

Разбивку всегда ведут по внутреннему рельсу, так как он является направляющей движения; наружный рельс укладывают по шаблону по расчетной ширине колеи.

На основании приведенных данных составлено много таблиц; причем имеются два способа расчета. Первый способ заключается в том, что берут равные дуги отдельных элементов ΔS; во втором способе принимают равные хорды, стягивающие дуги отдельных элементов ΔS.

По первому способу произведен расчет вышеприведенной таблицы № I и приводимых ниже таблиц №№ II—X, применяемых в Англии (размеры даны в футах).

ТАБЛИЦА II.

Радиус внутреннего рельса.	Угол α	Координаты.		Угол поворота φ	$1 - Cos\,\varphi$	$Sin\,\varphi$
		y	x			
210	0°42′	0,015	2,565	0°42′	0,00007	0,01222
105	1°24′	0,078	5,130	2°06′	0,00067	0,03664
70	2°06′	0,219	7,692	4°12′	0,00269	0,07324
$52^1/_2$	2°48′	0,469	10,245	7°00′	0,00745	0,12187
42	3°30′	0,860	12,780	10°30′	0,01675	0,18224
35	4°12′	1,420	15,283	14°42′	0,03273	0,25376

$R' = 210' = 64{,}26$ м.; $R = 35' = 10{,}71$ м. $\Delta S = 2{,}57' = 0{,}78$ м.; таблица рассчитана для очень трудных условий трассы, для вагонов с малыми базами.

ТАБЛИЦА III.

Радиус внутреннего рельса.	Угол α	Координаты.		Угол поворота φ	$1 - Cos\,\varphi$	$Sin\,\varphi$
		y	x			
300	0°30′	0,011	2,618	0°30′	0,00004	0,00873
150	1°00′	0,057	5,235	1°30′	0,00034	0,02618
100	1°30′	0,160	7,851	3°00′	0,00137	0,05234
75	2°00′	0,342	10,463	5°00′	0,00381	0,08716
60	2°30′	0,627	13,095	7°30′	0,00856	0,13053
50	3°00′	1,036	15,651	10°30′	0,01675	0,18224
$42^1/_2$	3°30′	1,587	18,187	14°00′	0,02970	0,24192
$37^1/_2$	4°00′	2,309	20,703	18°00′	0,04894	0,30902

$R_1 = 300' = 91{,}5$ м.; $R = 37^1/_2{}' = 11{,}44$ м.; $\Delta S = 2{,}61' = 0{,}80$ м. Таблица III рассчитана для тех же условий.

ТАБЛИЦА IV.

Радиус внутреннего рельса.	Угол α	Координаты.		Угол поворота φ	$1 - Cos\,\varphi$	$Sin\,\varphi$
		y	x			
300	1°0′	0,046	5,236	1°0′	0,00015	0,01745
150	2°0′	0,229	10,468	3°0′	0,00137	0,05234
100	3°0′	0,639	15,688	6°0′	0,00548	0,10453
75	4°0′	1,368	20,871	10°0′	0,01519	0,17365
60	5°0′	2,501	25,982	15°0′	0,03407	0,25882
50	6°0′	4,118	30,959	21°0	0,06642	0,35837
40	7°0′	6,143	35,403	28°0′	0,11705	0,46947

$R_1 = 300'' = 91,5$ м.; $R = 40' = 12,2$ м.; $\Delta S = 5,23' = 1,6$ м. Таблица дана для тех же условий.

ТАБЛИЦА V.

Радиус внутреннего рельса.	Угол α	Координаты.		Угол поворота φ	$1 - Cos\,\varphi$	$Sin\,\varphi$
		y	x			
420	0°42′	0,031	5,131	0°42′	0,00007	0,01222
210	1°24′	0,157	10,261	2°06′	0,00067	0,03664
140	2°06′	0,439	15,384	4°12′	0,00269	0,07324
105	2°48′	0,939	20,490	7°00′	0,00745	0,12187
84	3°30′	1,720	25,561	10°30′	0,01675	0,18214
70	4°12′	2,839	30,567	14°42′	0,03273	0,25376
60	4°54′	4,352	35,469	19°36′	0,05794	0,33545

$R = 420' = 128,1$ м.; $R = 60' = 18,3$ м.; $\Delta S = 7',89 = 2,4$ м. Таблица предназначена для более легких условий.

ТАБЛИЦА VI.

Радиус внутреннего рельса	Угол α	Координаты		Угол поворота φ	$1 - Cos\,\varphi$	$Sin\,\varphi$
		y	x			
600	0°30′	0,023	5,236	0°30′	0,00004	0,00873
300	1° 0′	0,114	10,471	1°30′	0,00034	0,02618
200	1°30′	0,320	15,703	3° 0′	0,00137	0,05234
150	2° 0′	0,685	20,926	5° 0′	0,00381	0,08716
120	2°30′	1,255	26,130	7°30′	0,00856	0,13053
100	3° 0′	2,073	31,302	10°30′	0,01675	0,18224
85	3°30′	3,175	36,374	14° 0′	0,02970	0,24192

$R_1 = 600' = 183$ м.; $R = 85' = 25{,}9$ м.; $\Delta S = 5{,}23' = 1{,}6$ м.

ТАБЛИЦА VII.

Радиус внутреннего рельса	Угол α	Координаты		Угол поворота φ	$1 - Cos\,\varphi$	$Sin\,\varphi$
		y	x			
900	0°20′	0,015	5,236	0°20′	0,00002	0,00582
450	0°40′	0,076	10,472	1° 0′	0,00015	0,01745
300	1° 0′	0,213	15,706	2° 0′	0,00061	0,03490
225	1°20′	0,457	20,936	3°20′	0,00169	0,05814
180	1°40′	0,837	26,158	5° 0′	0,00381	0,08716
150	2° 0′	1,385	31,365	7° 0′	0,00745	0,12187
128	2°20′	2,125	36,524	9°20′	0,01324	0,16218

$R_1 = 900' = 274{,}5$ м.; $R = 128' = 39$ м.; $\Delta S = 5{,}23' = 1{,}6$ м.

Инженер Гольт, начальник пути трамвая в Лидсе, предлагает три следующих таблицы (радиусы даны по оси пути, размеры в футах):

ТАБЛИЦА VIII.

φ	R	x	y
30′	286,478′	2′6″	$^1/_8$″
1°30′	143,239′	5′	$^{21}/_{32}$″
3°	95,493′	7′5$^1/_{32}$″	1′$^{27}/_{32}$″
5°	71,619′	9′11$^7/_8$″	3′$^{15}/_{16}$″
7°30′	57,295′	12′5$^{11}/_{16}$″	7′$^3/_{16}$″
10°30′	47,746′	14′11$^5/_6$″	11′$^7/_8$″
14°	40,925′	17′4$^5/_8$″	1′6$^1/_4$″
18°	35,809′	19′9$^1/_2$″	2′2$^1/_2$″

$R_1 = 87{,}32$ м. $R = 10{,}92$ м. $\Delta S = 2{,}5' = 0{,}77$ м. $v = 4{,}6\,\frac{\text{м.}}{\text{с.}} = 16{,}6\,\frac{\text{кам.}}{\text{ч.}}$

Таблица предназначена для трудных условий.

ТАБЛИЦА IX.

φ	R	x	y
20′	429,718′	2′6″	$^3/_{32}$″
1°	214,859′	5′0″	$^7/_{16}$″
2°	143,239′	7′6″	1′$^7/_{32}$″
3°20′	107,429′	9′11$^{31}/_{32}$″	2′$^5/_8$″
5°	85,943′	12′5$^7/_8$″	4′$^{13}/_{16}$″
7°	71,619′	14′11$^{11}/_{16}$″	7′$^{15}/_{16}$″
9°20′	61,388′	17′5$^3/_8$″	1′$^3/_{16}$″
12°	53,714′	19′10$^7/_8$″	1′5$^3/_4$″
15°	47,746′	22′4$^1/_{16}$″	2′$^3/_4$″
18°20′	42,971′	24′8$^3/_{16}$″	2′9$^3/_8$″
22°	39,065′	27′$^{15}/_{16}$″	3′7$^{11}/_{16}$″

$R_1 = 429{,}718' = 131{,}0$ м. $R = 39{,}065' = 11{,}91$ м. $\Delta S = 2{,}6' = 0{,}80$ м.

$v = 5{,}7\,\frac{\text{м.}}{\text{с.}} = 20{,}52\,\frac{\text{кам.}}{\text{ч.}}$

ТАБЛИЦА X.

φ	R	x	y
20′	687,549′	4′	$^5/_{32}''$
1°	343,774′	8′	$^{11}/_{16}''$
2°	229,183′	12′	$1^{15}/_{16}''$
3°20′	171,887′	$15'11^{15}/_{16}''$	$4^3/_{16}''$
5°	137,509′	$19'11^{13}/_{16}''$	$7^{11}/_{16}''$
7°	114,591′	$23'11^1/_2''$	$1'^{11}/_{16}''$
9°20′	98,221′	$27'11^1/_{16}''$	$1'7^1/_2''$
12°	85,443′	$31'10^3/_{16}''$	$2'4^3/_8''$
15°	76,394′	$35'8^7/_8''$	$3'3^5/_8''$

$R_1 = 687{,}549' = 209{,}56$ м. $R = 76{,}394' = 23{,}34$ м. $\Delta S = 4' = 1{,}22$ м. $v = 7{,}2\ ^{м}/_{с} = 25{,}92\ ^{км}/_{час}$.

Как пример таблиц, рассчитанных по второму способу, т.-е. когда приняты равные хорды, стягивающие дуги элементов ΔS, приводим таблицы Ленинградского и Одесского трамваев.

В таблице XI:

Радиус по оси $R_1 = 184{,}562$ м.; $R = 14{,}62$ м.

$\Delta S = 2R_1\ Sin\ \frac{\alpha_1}{2} = 2 \times 184{,}562 \times Sin\ 10' = 1{,}074$ м.

$v = 6{,}80\ ^{м}/_{с} = 24{,}46\ ^{км}/_{час}$.

Таким образом, равные хорды взяты по оси кривой, и задан угол $\alpha_1 = 20'$.

По углам α и ΔS определены радиусы по формуле $R = \frac{\Delta S}{2\,Sin\,\frac{\alpha}{2}}$; затем определены радиусы, координаты и длины дуг по внутреннему и наружному рельсу.

В таблице XII длина хорды принята равной $\Delta S = 1{,}15$ м. по оси кривой. Радиусы по оси вычислены по формуле $R_n = \frac{\Delta S}{2\,Sin\,\frac{\alpha_n}{2}}$, (см. черт. 134);

ТАБЛИЦА XI.

Ленинградский трамвай.

№№ по пор	Центральный угол α	Угол поворота φ	Радиусы пер. кр.		Координаты вн. кр.			Координаты нар. кр.			Радиус центр. части кривой	Координаты начала		Длина перех. кривой	
			Внутр.	Наруж.	x	y	Длина	x	y	Длина		a	b	Вн. р.	Нар. р.
1	20′	20′	183,800	185,324	1,069	0,003	1,069	1,078	0,003	1,078	—	—	—	—	—
2	40′	1°	91,520	93,044	2,134	0,016	1,065	2,161	0,016	1,083	75	0,825	0,005	2,134	2,161
3	1°	2°	60,760	62,284	3,193	0,141	1,061	3,248	0,042	1,087	60 50	1,099 1,448	0,005 0,011	3,195 3,195	3,248 3,248
4	1°20′	3°20′	45,380	46,904	4,249	0,091	1,056	4,338	0,093	1,092	40	1,923	0,025	4,251	4,340
5	1°40′	5°	36,150	37,674	5,298	0,167	1,062	5,431	0,173	1,096	30	2,683	0,032	5,303	5,436
6	2°	7°	30,000	31,524	6,339	0,276	1,047	6,525	0,288	1,100	—	—	—	—	—
7	2 20′	9 20′	25,610	27,134	7,372	0,424	1,043	7,619	0,446	1,105	25	3,318	0,093	7,393	7,641
8	2°40′	12°	22,310	23,834	8,392	0,617	1,038	8,709	0,650	1,109	20	4,234	0,180	8,431	8,750
9	3°	15°	19,750	21,274	9,398	0,859	1,034	9,792	0,910	1,114	—	—	—	—	—
10	3°20′	18°20′	17,700	19,224	10,384	1,154	1,030	10,863	1,231	1,118	16	5,351	0,342	10,495	10,982
11	3°40′	22°	16,020	17,544	11,346	1,507	1,025	11,917	1,618	1,123	—	—	—	—	—
12	4	26°	14,620	16,144	12,278	1,922	1,021	12,946	2,076	1,127	14	6,141	0,505	12,541	13,232

ТАБЛИЦА XII. (Одесский трамвай).

$\alpha_n = n\,\alpha_1$	$\varphi_n = \varphi_{n-1} + \alpha_n$	$\beta_n = \varphi_n - \frac{\alpha_n}{2}$	$R_n = \frac{\Delta s}{2\,Sin\,\frac{\alpha_n}{2}}$	$Sin\,\beta$ и $Cos\,\beta$	x_n	y_n	$\tau = \frac{\pi\,\alpha}{180^\circ}$	Длина кривой	
								Внутренняя L_1	Наружная L_2
20′	20′	10′	197,662	0,002909 0,999996	1,15000	0,00335	0,005818	1,14703	1,15291
40′	1°	40′	98,750	0,011635 0,999932	2,29990	0,01673	0,011636	2,2902	2,30778
1°	2°	1°30′	65,830	0,026177 0,999657	3,44950	0,04683	0,017453	3,43052	3,46543
1°20′	3°20′	2°40′	49,420	0,046525 0,998917	4,59825	0,10033	0,023271	4,56847	4,62666
1°40′	5°	4°10′	39,535	0,072658 0,997357	5,74521	0,18389	0,029089	5,70396	5,791235
2°	7°	6°	32,948	0,104528 0,994522	6,88891	0,30410	0,034907	6,83660	6,95878
2°20′	9°20′	8°10′	28,240	0,142053 0,989859	8,02725	0,46746	0,040724	7,96629	8,129203
2°40′	12°	10°40′	24,715	0,185095 0,982721	9,15738	0,68032	0,046542	9,09331	9,30277
3°	15°	13°30′	21,966	0,933445 0,972370	10,27561	0,94878	0,052360	10,21726	10,47908
3°20′	18°20′	16°40′	19,761	0,286803 0,958000	11,37731	1,27860	0,058178	11,33777	11,65766

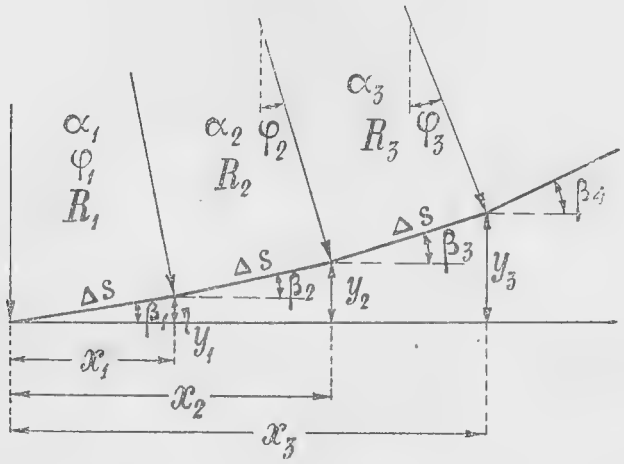
координаты $x_n = \Delta S (Cos\,\beta_1 + \ldots\ldots + Cos\,\beta_n)$;

$$y_n = \Delta S (Sin\,\beta_1 + \ldots\ldots + Sin\,\beta_n);$$

длина дуги $L_1 = \Sigma l_1$; $l_1 = \tau (R_n - 0{,}5$ м.); $L_2 = \Sigma l_2$; $l_2 = (R_n + 0{,}5$ м.) . τ,

где $\tau = \frac{\pi \alpha}{180^\circ}$;

ширина колеи = 1,00 м.



Черт. 134.

Разбивка переходной кривой, принятой в Одессе.

В таблицах XI и XII закон изменения радиусов несколько отступает от закона спирали: $R_n = \frac{R_1}{n}$.

Наиболее рационально принять равные длины дуг элементов по внутреннему рельсу и сохранить для него закон изменения радиусов обратно пропорционально пройденным путям, т. е. длинам дуг от начала кривой, так как внутренний рельс является направляющей движения по кривой. Разбивку следует вести тоже по внутреннему рельсу, и для него должны быть подсчитаны координаты кривой.

В этом отношении метод расчета таблицы I следует признать наиболее рациональным.

Когда разбивка переходной кривой производится по внутреннему рельсу, то для получения координат наружного рельса можно пользоваться формулами (см. черт. 135):

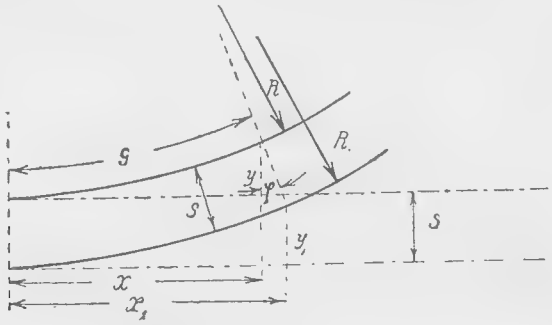
$$x_1 = x + s\,Sin\,\varphi$$

$$y_1 = s\,(1 - Cos\,\varphi) + y.$$

Для выбора определенной кривой для данной трассы можно рекомендовать следующий способ.

Вычерчивают диаграмму кривых для разных центральных радиусов по разным таблицам (см. диаграмму—черт. 136).

На диаграмме кривые линии показывают направления внутренних рельсов, разбитых по таблицам II, III, IV, V, VI и VII, для разных центральных радиусов.



Черт. 135.

Эпюра разбивки наружного рельса.

Крайние линии диаграммы представляют границы тротуаров пересекающихся под прямым углом улиц; параллельные линии диаграммы проведены в расстоянии одного фута друг от друга.

Положим, нужно уложить двупутную кривую в пересечении двух улиц шириной 41 и 63 фута; ширина колеи 5′, ширина междопутия 7′.

Расстояния внутренних рельсов от тротуаров на прямых участках путей будут:

$$\frac{41-(2\times 5+7)}{2}=12';$$

$$\frac{63-(2\times 5+7)}{2}=23'.$$

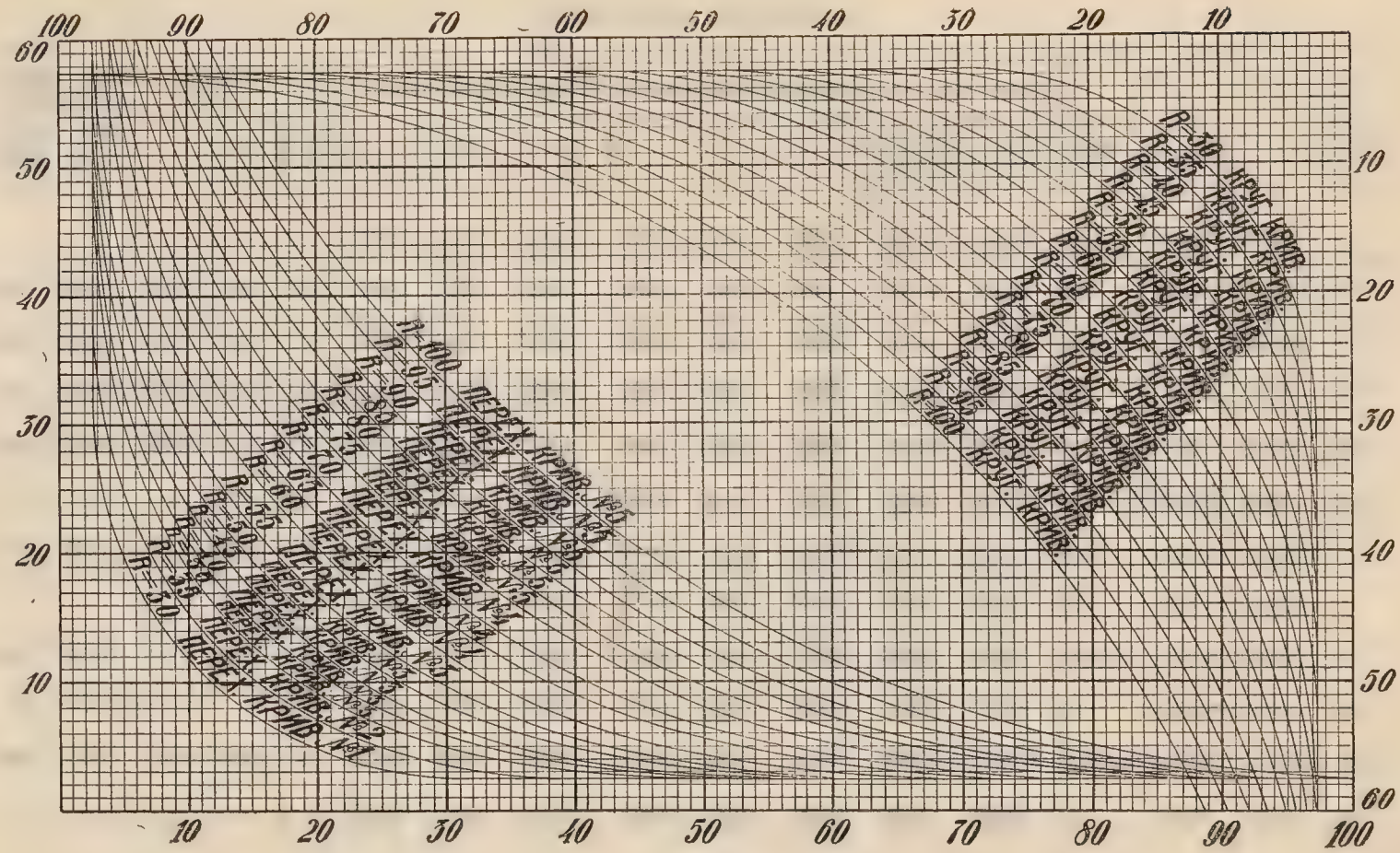
Проследив до пересечения полученные линии, мы найдем, что точка их пересечения совпадает с кривой № 3, разбитой по таблице IV, с центральным радиусом $R=50'$.

Так как линии тангенсов кривых находятся в расстоянии $2^1/_2{}'$ от линии тротуаров, то на том же расстоянии будет находиться внутренний рельс центральной части кривой от угла пересечения тротуаров.

Ту же диаграмму можно вычертить на кальке и, накладывая ее на трассу (план улиц), можно выбрать наилучшую кривую.

Для пригородных железных дорог, где допускаются большие скорости и имеется больше свободного места, применяются переходные кривые с большим начальным радиусом и длиной элемента $\Delta s=l$.

Как пример, приводим таблицы, XIII — XV, переходных кривых, примененные при постройке Ораниенбаумской электрической ж. д. (размеры даны в саженях).



Черт. 136.

Диаграмма переходных кривых.

ТАБЛИЦА XIII.

№	α	φ	Радиусы			Коорд. наружн. рельса			Коорд. внутр. рельса			Радиус централ. части кривой	Коорд. начала		Длина переходной кривой	
			Оси	Нар. рельса	Внутр. рельса	x	y	l	x	y	l		a	b	Нар. рельс.	Внутр. рельс.
1	25′30″	25′30″	120	120.357	119.643	0.893	0.004	0.8931	0 888	0.004	0.8878	—	—	—	—	—
2	51′0″	1°16′30″	60	60.357	59.643	1.788	0.017	0.8958	1.772	0.017	0.8852	40	0.890	0.007	1.789	1.773
3	1°16′30″	2°33′0″	40	40.357	39.643	2.686	0.047	0.8984	2.654	0.046	0.8825	30	1.335	0.017	2.687	2.656
4	1°42′0″	4°15′0″	30	30.357	29.643	3.585	0.100	0.9011	3.532	0.098	0.8799	24	1.780	0.033	3.588	3.535
5	2°7′30″	6°22′30″	24	24.357	23.643	4.484	0.184	0.9037	4.405	0.179	0.8772	20	2.224	0.058	4.492	4.413
6	2°33′0″	8°55′30″	20	20.357	19.643	5.382	0.304	0.9064	5.271	0.296	0.8746	—	—		—	—
7	2°58′30″	11°54′0″	17.143	17.500	16.786	6.276	0.469	0.9090	6.128	0.453	0.8719	15	3.109	0.138	6.308	6.159
8	3°24′0″	15°18′0″	15	15.357	14.643	7.161	0.683	0.9117	6.973	0.658	0.8693	—	—	—	—	—
9	3°49′30″	19°7′30″	13.333	13.690	12.976	8.034	0.953	0.9143	7.800	0.914	0.8666	12	3.985	0 271	8.134	7.895
10	4°15′0″	23°22′30″	12	12.357	11.643	8.888	1.285	0.9170	8.605	1.227	0.8640	—	—	—	—	—
11	4°40′30″	28°3′0″	10.9091	11.2661	10.5521	9.716	1.684	0.9196	9.380	1.600	0.8613	10	4.846	0.467	9.970	9.620
12	5°6′0″	33°9′0″	10	10.357	9.643	10.509	2.155	0.9223	10.119	2.037	0.8587	—	—	—	—	—

ТАБЛИЦА XIV.

№	α	φ	Радиусы			Коорд. наружн. рельса			Коорд. внутрен. рельса			Радиус централ. части кривой.	Коорд. начала		Длина переходной кривой	
			Оси	Нар. рельса	Внутр. рельса	x	y	l	x	y	l		a	b	Нар. рельс	Внутр. рельс
1	20′24″	20′24″	300	300.357	299.643	1.782	0.006	1.7830	1.778	0.006	1.7788	150	0.890	0.003	1.7830	1.7788
2	40′48″	1° 1′12″	150	150.357	149.643	3.567	0.027	1.7852	3.554	0.027	1.7767	100	1.780	0.011	3.5682	3.5555
3	1° 1′12″	2° 2′24″	100	100.357	99.643	5.353	0.074	1.7873	5.328	0.074	1.7746	75	2.671	0.028	5.3555	5.3301
4	1°21′36″	3°24′ 0″	75	75.357	74.643	7.140	0.159	1.7894	7.097	0.158	1.7724	60	3.560	0.053	7.1449	7.1025
5	1°42′ 0″	5° 6′ 0″	60	60.357	59.643	8.925	0.292	1.7915	8.862	0.289	1.7703	50	4.449	0.093	8.9364	8.8728
6	2° 2′24″	7° 8′24″	50	50.357	49.643	10.708	0.483	1.7936	10.619	0.477	1.7682	—	—	—	—	—
7	2°22′45″	9°31′12″	42.857	43.214	42.500	12.484	0.743	1.7957	12.366	0.733	1.7661	—	—	—	—	—
8	2°43′12″	12°14′24″	37.500	37.857	37.143	14.249	1.082	1.7979	14.097	1.066	1.7640	—	—	—	—	—
9	3° 3′36″	15°18′ 0″	33.333	33.690	32.976	15.996	1.511	1.8000	15.807	1.485	1.7618	30	7.986	0.434	16.1236	15.9329
10	3°24′ 0″	18°42′ 0″	30	30.357	29.643	17.718	2.037	1.8021	17.489	2.000	1.7597	—	—	—	—	—

ТАБЛИЦА XV.

№	α	φ	Радиусы			Коорд. наружн. рельса			Коорд. внутрен. рельса			Радиус централ. части кривой.	Коорд. начала		Длина переходной кривой	
			Оси	Нар. рельса	Внутр. рельса	x	y	l	x	y	l		a	b	Нар. рельс	Внутр. рельс
1	10′12″	10′12″	1200	1200.357	1199.643	3.562	0.005	3.5615	3.559	0.005	3.5593	—	—	—	—	—
2	20′24″	30′36″	600	600.357	599.643	7.124	0.027	3.5625	7.118	0.027	3.5583	—	—	—	—	—
3	30′36″	1° 1′12″	400	400.357	399.643	10.687	0.075	3.5636	10.674	0.074	3.5572	300	5.341	0.029	10.688	10.675
4	40′48″	1°42′ 0″	300	300.357	299.643	14.251	0.159	3.5646	14.230	0.158	3.5562	240	7.121	0.053	14.252	14.231
5	51′ 0″	2°33′ 0″	240	240.357	239.643	17.814	0.291	3.5657	17.782	0.290	3.5551	200	8.900	0.092	17.818	17.786
6	1° 1′12″	3°34′12″	200	200.357	199.643	21.376	0.481	3.5668	21.332	0.480	3.5540	—	—	—	—	—
7	1°11′24″	4°45′36″	171.4286	171.786	171.072	24.934	0.741	3.5678	24.375	0.738	3.5530	150	12.457	0.222	24.953	24.893
8	1°21′36″	6° 7′12″	150	150.357	149.643	28.487	1.079	3.5689	28.411	1.075	3.5519	—	—	—	—	—

Кубическая парабола.

Уравнение кубической параболы:

$$y = \frac{x^3}{6p}, \text{ где } p \text{ — параметр,}$$

и радиус кривизны:

$$\rho = \frac{p}{x},$$

т. е. радиус кривизны обратно пропорционален расстоянию от начала кривой, считая по касательной.

Очевидно, у начала переходной кривой разница в длине дуги и касательной столь ничтожна, что для разбивки коротких переходных кривых можно употреблять кубическую параболу. Но для переходных кривых значительной длины величина дуги и касательной уже заметно различается, вследствие чего кривизна кривой возрастает скорее, чем требуется по формуле:

$$\rho = \frac{1}{K.S}$$

В виду этого кубическая парабола нерациональна для разбивки переходных кривых для закруглений малых радиусов, которые имеют место на городских железных дорогах; применяется же она главным образом для разбивки железнодорожных кривых.

Тем не менее, на некоторых трамваях и она встречается при разбивке закруглений по радиусу $R > 50$ м. Примером может служить гор. Вена, где по кубической параболе разбиты закругления городских линий при $R > 50$ м. и, главным образом, кривые пригородных линий.

В прилагаемой ниже таблице приведены элементы переходной кривой, разбитой по кубической параболе, для радиусов: от $R = 50$ м. до $R = 600$ м.

Расчет элементов кривой произведен по следующим формулам: (см. черт. 137).

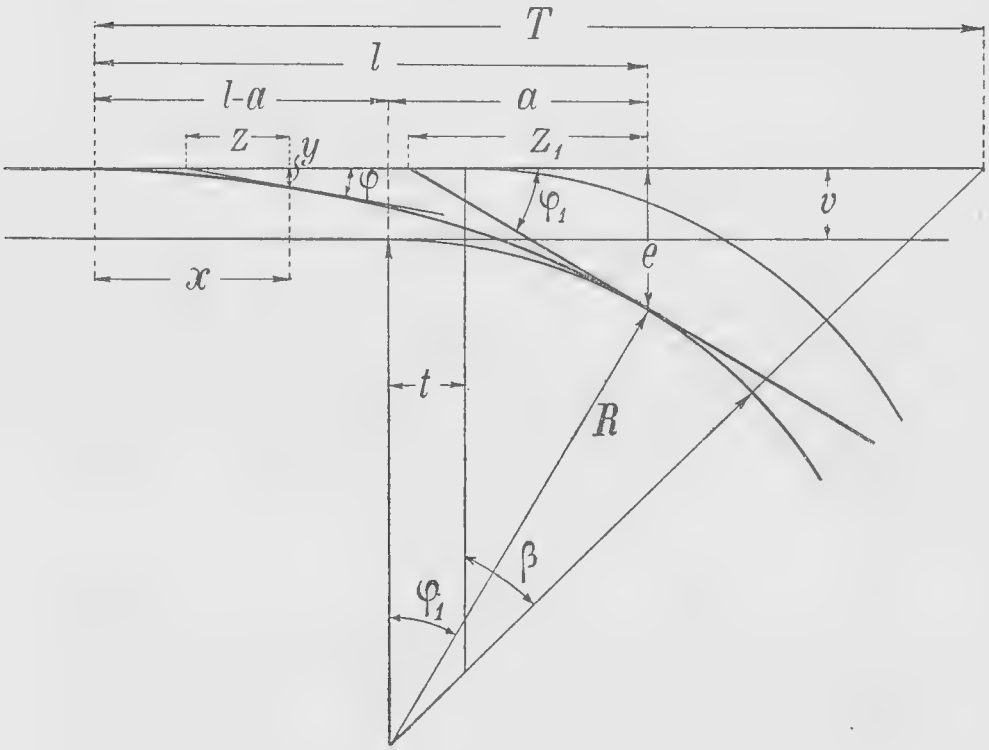
I. $y = \frac{x^3}{6c}$

II. $l = \frac{c}{R} = 20{,}00$ м., где c принята, как постоянная величина

III. $c = 20\,R$

IV. $e = \frac{l^3}{6c} = \frac{c^2}{6R^3} = \frac{l^2}{6R} = \frac{400}{6R} = \frac{66{,}667}{R}$

V. $v = \frac{l^2}{24R} = \frac{e}{4}$.



Черт. 137.

Переходная кривая по куб. параболе.

VI. $tg\,\varphi = \frac{x^2}{2c}$ и $z = \frac{x}{3}$.

VII. $tg\,\varphi_1 = \frac{l^2}{2c}$ и $z_1 = \frac{l}{3}$.

VIII. $a = R\,Sin\,\varphi_1$.

ТАБЛИЦА ЭЛЕМЕНТОВ ПЕРЕХОДНОЙ КРИВОЙ ПО КУБИЧЕСКОЙ ПАРАБОЛЕ

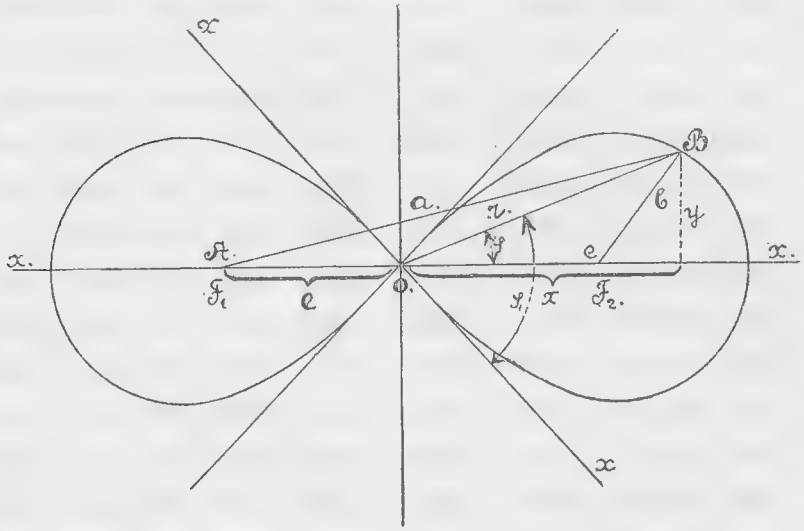
R	l	C=lR	tg φ_1	φ_1	a	$l-a$	v	Ординаты кривой при абсциссах от ее начала.			
								5 м.	10 м.	15 м.	20 м.
50	20	1000	0,200000	11°18′36″	9,806	10,194	0,333	0,021	0,167	0,563	1,333
60	»	1200	0,16667	9°27′44″	9,864	10,136	0,278	0,017	0,139	0,469	1,111
70	»	1400	0,14286	8°07′48″	9,899	10,101	0,238	0,015	0,119	0,402	0,952
80	»	1600	0,12500	7°07′30″	9,923	10,077	0,208	0,013	0,104	0,352	0,833
90	»	1800	0,11111	6°20′25″	9,939	10,061	0,185	0,012	0,093	0,313	0,741
100	»	2000	0,10000	5°42′38″	9,950	10,050	0,167	0,010	0,083	0,281	0,667
110	»	2200	0,09091	5°11′40″	9,959	10,041	0,152	0,009	0,076	0,255	0,606
120	»	2400	0,08333	4°45′49″	9,965	10,035	0,139	0,009	0,069	0,234	0,556
130	»	2600	0,07692	4°23′55″	9,970	10,030	0,128	0,008	0,064	0,216	0,513
140	»	2800	0,07143	4°05′08″	9,974	10,026	0,119	0,007	0,060	0,201	0,476
150	»	3000	0,06667	3°48′51″	9,978	10,022	0,111	0,007	0,056	0,188	0,444
160	»	3200	0,06250	3°34′35″	9,981	10,019	0,104	0,007	0,052	0,176	0,417
170	»	3400	0,05882	3°21′59″	9,983	10,017	0,098	0,006	0,049	0,165	0,392
180	»	3600	0,05556	3°10′47″	9,984	10,016	0,093	0,006	0,046	0,156	0,370
190	»	3800	0,05263	3°00′46″	9,986	10,014	0,088	0,005	0,044	0,148	0,351
200	»	4000	0,05200	2°51′45″	9,988	10,012	0,083	0,005	0,042	0,141	0,333
220	»	4400	0,04545	2°36′09″	9,990	10,010	0,076	0,005	0,038	0,128	0,303
250	»	5000	0,04000	2°17′26″	9.992	10,008	0,067	0,004	0,033	0,112	0,267
280	»	5600	0,03571	2°02′43″	9,993	10,007	0,060	0,004	0,030	0,100	0,238
300	»	6000	0,03333	1°54′33″	9,995	10,005	0,056	0,003	0,028	0,094	0,222
350	»	7000	0,02857	1°38′12″	9,996	10,004	0,048	0,003	0,024	0,080	0,190
400	»	8000	0,02500	1°25′56″	9,997	10,003	0,042	0,003	0,021	0,070	0,167
450	»	9000	0,02222	1°16′23″	9,998	10,002	0,037	0,002	0,019	0,063	0,148
500	»	10000	0,02000	1°08′45″	9,999	10,001	0,033	0,002	0,017	0,156	0,133
600	»	12000	0,01667	0°57′17″	9,999	10,001	0,028	0,002	0,014	0,047	0,111

Начало кривой от вершины угла поворота определяется: $T = (R + v)\ \mathrm{tg}\ \beta + (l - a) \infty (R + v)\ \mathrm{tg}\ \beta + \frac{l}{2}$.

Лемниската.

Лемниската представляет собой кривую (см. черт. 138) в виде цифры 8 и обладает тем свойством, что произведение расстояний любой точки кривой до двух постоянных точек, фокусов, есть величина постоянная, равная квадрату половины фокусного расстояния e. Уравнение лемнискаты в полярных координатах будет:

$$r^2 = 2\,e^2 Cos\,2\varphi.$$



Черт. 138.

Лемниската.

Если вместо оси XX взять ось X_1X_1, касательную к кривой в ее начале, то уравнение лемнискаты будет:

$$r^2 = 2\,e^2 Sin\,2\varphi.$$

Определяя радиус кривизны, получим:

$$\rho = \frac{2e^2}{3r},$$

т.-е. радиус кривизны обратно пропорционален расстоянию данной точки от начала кривой, отсчитанному по хорде, вследствие этого лемниската в большей степени удовлетворяет условию:

$$\rho = \frac{1}{k.S},$$ чем парабола,

так как разница между длиной хорды и кривой значительно меньше, чем между дугой и касательной.

Определим параметр кривой из вышеуказанного условия:

$$\rho = \frac{2e^2}{3r}$$

или, принимая:

$$2\,e^2 = a^2,$$

$$\text{из уравнения } \rho = \frac{a^2}{3r},$$

подставляя в него величину r, определенную из уравнения:

$$r^2 = a^2 \; Sin\; 2\varphi,$$

получим:

$$\rho = \frac{a}{3\sqrt{Sin\; 2\varphi}}$$

Если $\varphi = o$, то радиус $\rho = \infty$; минимальное значение радиус кривизны имеет при $\varphi = 45^\circ$; т.-е.

$$\rho = \frac{a}{3},$$

и при $\varphi = 90^\circ$, $\rho = \infty$.

В прямоугольных координатах уравнение лемнискаты будет иметь следующий вид:

$$x = r\; Cos\; \varphi, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (8)$$

$$y = r\; Sin\; \varphi, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (9)$$

или в таком виде:

$$(x^2 + y^2) = 2\,e^2\;(x^2 - y^2) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (10)$$

Разбивку лемнискаты предпочитают делать в полярных координатах, (черт. 139), для чего задаются величиной ее параметра a и, давая определенные значения углу φ, вычисляют радиусы-векторы r, пользуясь уравнением:

$$r^2 = a^2 \; Sin\; 2\varphi.$$

Например, принимаем $a = 50$, тогда:

$$r^3 = 50^2 \; Sin\; 2\varphi.$$

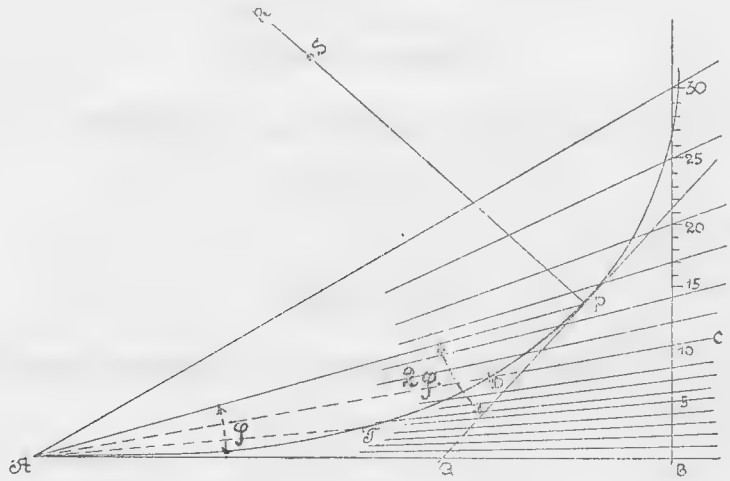
Задаемся последовательными значениями угла $\varphi = 1^\circ, 2^\circ, 3^\circ$... и так далее и вычисляем соответственные величины r.

В виду того, что в начале кривой углы φ очень малы, разбивка кривой является затруднительной, и поэтому на небольшом протяжении ее можно заменить кубической параболой.

Различие этих кривых для малых величин угла φ ничтожно, так как разница между хордой дуги и ее касательной незначительна.

Действительно, принимая $r = x$, получим:

$$x^2 = a^2 \ Sin \ 2\varphi,$$



Черт. 139.

Разбивка лемнискаты в полярных координатах.

заменяя $Sin \ 2\varphi$ через $tg \ 2\varphi$ по малости угла и замечая, что приблизительно $tg \ 2\varphi = \frac{2y}{x}$, получим:

$$x^2 = a^2 \frac{2y}{x},$$

$$y = \frac{x^3}{2a^2}.$$

По этим формулам можно вычислить кривую для $\varphi = 1^0 - 2^0$.

В данной кривой, как мы уже видели, радиус кривизны изменяется от $\rho = \infty$ до $\rho = \frac{a}{3}$.

Для определения положения точки кривой с определенной кривизной можно из уравнения:

$$\rho = \frac{a^2}{3r}$$

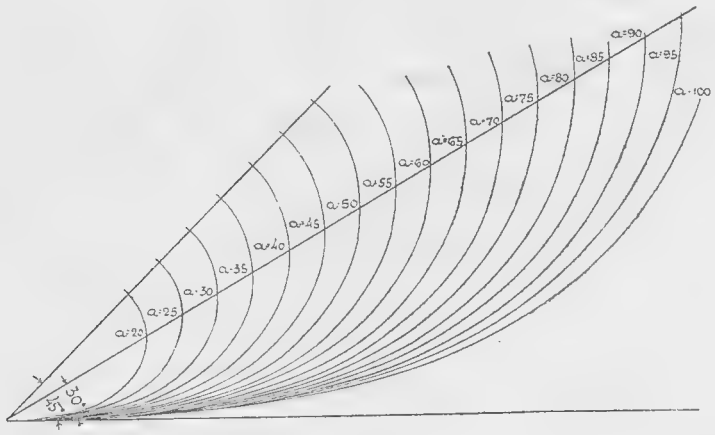
определить r, а именно:

$$r = \frac{a^2}{3\rho}.$$

При разбивке кривой бывает надобность определить кривизну и центр кривизны для данной точки кривой.

Для этого (см. черт. 139) в данной точке кривой P с радиусом-вектором AP, при угле φ, строим угол $APQ = 2\varphi$, проводим $RP \perp QP$ и откладываем на этом перпендикуляре от точки P величину $PS = \frac{a^2}{3PA} = \rho = \frac{a^2}{3r}$; полученная точка S — есть центр кривизны,

SP — радиус кривизны.



Черт. 140.

Диаграмма переходных кривых „по лемнискате“ при разных параметрах.

На черт. 140 показан ряд кривых по величине $a =$ от 20 до 100 м.

Из рассмотрения ур-ния радиуса кривизны лемнискаты $\rho = \frac{3}{a\sqrt{Sin\ 2\varphi}}$ видим, что при величине $\varphi \geq 30^0$ лемниската мало отличается от дуги круга, $R = \frac{a}{3}$, так как $Sin\sqrt{60^\circ} = 0{,}93$ близок к единице.

В виду этого можно при разбивке кривых по лемнискате задаваться величиной:

$$a = 3R,$$

где R есть радиус дуги круга, по которой разбита центральная часть кривой, и вести разбивку переходной кривой по лемнискате на протяжении, соответствующем углу 30^0 (что, очевидно, возможно при углах поворота больших 60^0) (см. черт. 141).

Приводим пример переходной кривой по лемнискате. Принимаем:

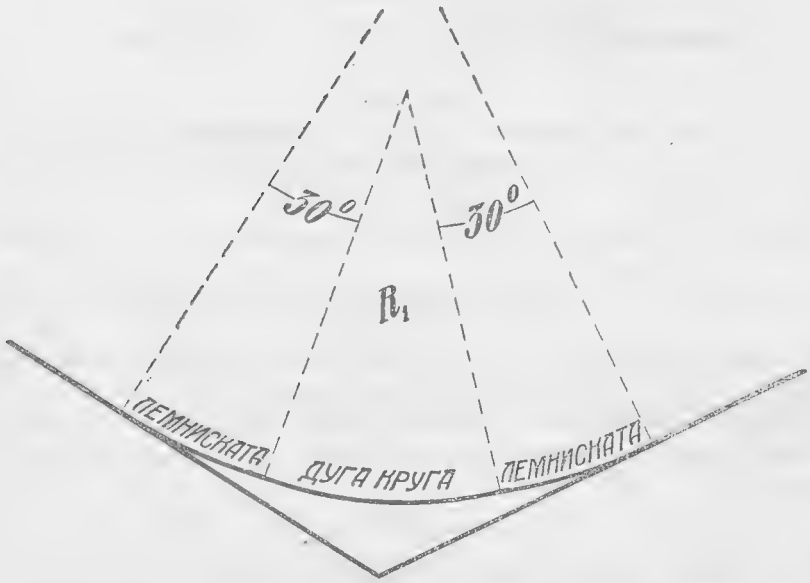
$$a^2 = 4500;\ a = 67{,}08$$

$$\rho = \frac{a^2}{3r};\ \varphi = \left(arcSin\ \frac{a^2}{r^2}\right):\ 2;\ x = r\ Cos\,\varphi;\ y = r\ Sin\,\varphi;\ r^2 = a^2\ Sin\,2\varphi.$$

Получим следующую таблицу:

r	a	φ	$Sin\,\varphi$	$Cos\,\varphi$	x	y	ρ
5	67,08	10′	0,0029	0,99999	5,00	0,015	300
10,23	—	40′	0,0116	0,99993	10,23	0,119	150
15,34	—	1°30′	0,0261	0,99965	15,33	0,399	100
19,80	—	2°30′	0,0436	0,99904	19,78	0,879	75

$$a = 3R = 3 \times 50 = 150.$$



Черт. 141.

Разбивка переходной кривой по лемнискате.

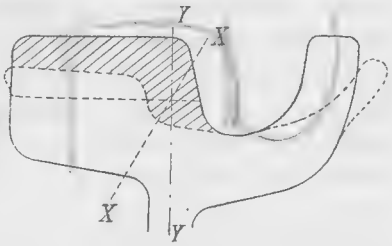
Ширина колеи и желоба.

Установление надлежащей ширины колеи на кривых участках пути является одним из наиболее важных вопросов проектировки путей городских железных дорог, так как каждая неправильность в укладке влечет за собой ненормальные износы рельсов и бандажей.

Вообще говоря, в трамвайном деле до сего времени нет общих норм, фиксирующих ширину колеи в зависимости от величины радиуса кривой. Объясняется это отчасти отсутствием однотипности в ходовых частях подвижного состава и профилях рельсов, отчасти тем, что до сего времени на данный вопрос не было обращено достаточного внимания.

По сравнению с железными дорогами нормального типа вопрос осложняется применением желобчатых рельсов и трассировкой кривых малыми радиусами ($R = 30 - 15$ м.).

Картина износов рельсов на кривых участках пути всех трамваев без исключения в общем однообразна. Всегда боковой износ рельсов превышает их вертикальный износ, и рельсы выходят из строя, не использовав полностью вертикальный допускаемый износ головки, исключительно по причине чрезмерного бокового износа.



Черт. 142.

Износ рельса в Ленинграде.

На чертеже 142 представлен износ рельса 1-й очереди Ленинградского трамвая на кривой радиуса $R = 20$ м., который является типичным. Как видно из чертежа, боковой износ головки достиг максимума, и головка может быть сколота в сечении XX, в то время как вертикальный износ еще не дошел до допускаемого предела. Губка рельса изношена и отогнута; рельс должен быть сменен.

Измерения величин вертикального и горизонтального износа в Ленинграде установили, что величина горизонтального износа, в среднем, в полтора раза превышает величину вертикального износа на кривых радиуса $R = 16 - 30$ м.

Подобное же соотношение наблюдал инженер Минорини в Милане, к тем же выводам пришла Москва. Очевидно, при существующих типах желобчатых рельсов, при несимметричном расположении шейки рельса относительно его головки, допускаемый боковой износ головки не может быть велик и, во всяком случае, он не должен переходить за линию оси шейки, по чертежу — за линию *УУ*, правильнее было бы считать пределом линию, проходящую через боковую грань шейки со стороны желоба рельса, т. о. допускаемый боковой износ головки не превышает 10 — 12 мм. для последних типов рельсов.

Очевидно, эта величина недостаточна, так как нормальный вертикальный износ обычно принимают от 12 до 14 мм., что соответствует боковому износу от 18 до 21 мм.

Таким образом, исходя из основного принципа, что рельс должен выбывать из строя при полном допускаемом износе всех его рабочих частей, мы приходим к необходимости перенести главную работу, вызываемую боковыми давлениями, на губки контр-рельсов, т.-е. в первый период службы кривой направляющими движения должны служить лишь губки.

Итак, вопрос сводится к определению такой ширины желоба и ширины колеи, при которых вышеуказанная схема имела бы место.

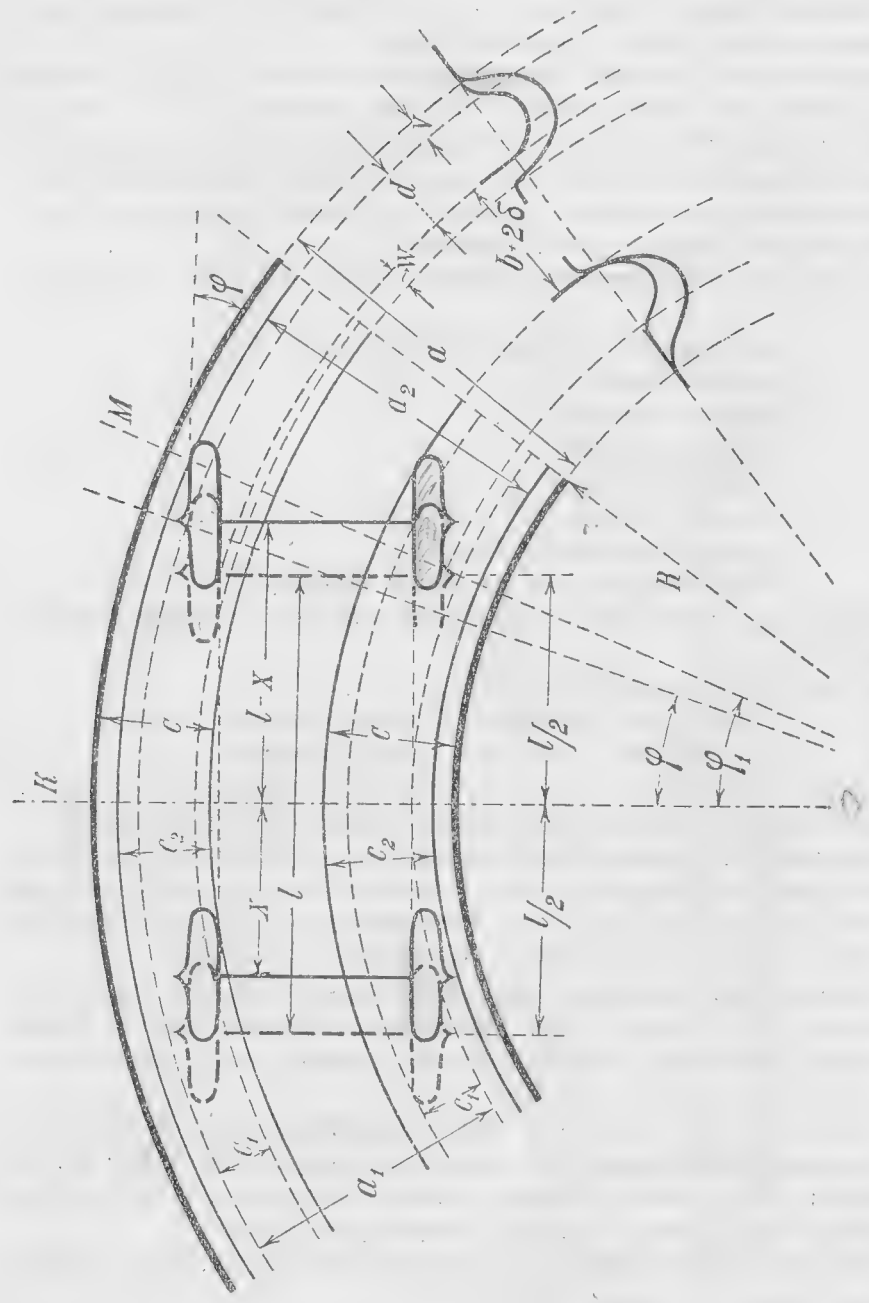
Рассмотрим движение двухосного вагона, с глухими осями при расстоянии между ними равном l, на кривой радиуса R.

На чертеже 143 показано расположение в плане ходовых частей двухосного вагона с глухими осями, при базе l, на кривой радиуса R; сечение соответствует горизонтальной плоскости на уровне головок рельсов. Пунктиром показаны рабочие канты головок и губок рельсов при ширине колеи a_1 и ширине желоба c_1, что соответствует центральному положению вагона, когда радиус, перпендикулярный к линии соединяющей центры осей, делит ее пополам, и реборды зажаты в желобах рельсов. В этом случае ширина желоба c_1 будет представлять собой ширину минимального желоба, а ширина колеи a_1 — ширину минимальной колеи. Движение подвижного состава будет происходить с громадным сопротивлением и износом реборд и рельсов.

Наружное колесо переднего ската и внутреннее колесо заднего будут стругать головки рельсов, наружное колесо заднего ската и внутреннее колесо переднего будут стругать губки контр-рельсов. Благодаря этой остружке произойдет уширение желобов и колеи, и расположение вагона на кривой относительно радиуса, перпендикулярного продольной оси вагона, изменится: он выйдет из центрального положения, и расстояние передней оси до радиуса OK будет больше, чем задней: $l - x > x$.

В первый период движения, при указанных выше условиях, когда $x = l - x = \frac{l}{2}$, сопротивление движению и износы бандажей и рельсов достигают громадных размеров, происходит стружка их, затем, по мере разработки желоба, сопротивление падает и износы не превосходят допускаемых норм. Соответственное расположение ходовых частей вагона показано на чертеже сплошными линиями: реборды бандажей уже не зажаты в желобах рельсов, направляющими движения служат одновременно и головки, и губки рельсов, ширина колеи$=a_2$, ширина желоба$=c_2$ и $l-x>x$.

Выше мы указали, что последняя схема не удовлетворяет основному требованию и выводит рельсы из строя, не использовав полностью допускаемый вертикальный износ головок; во избежание этого необходимо пе-



Черт. 143.

Расположение ходовых частей двухосного вагона на кривой из желобч. рельсов.

ренести главную работу от боковых давлений на губки рельсов, что достигается уширением колеи, как показано на чертеже жирными линиями.

В этом последнем случае, при ширине колеи a и ширине желоба c, в первый период работы кривой направляющими движения будут служить

губки контр-рельсов, и лишь после соответственного их износа начнется совместная работа и губок, и головок рельсов.

Аналитический расчет соответствующих ширин колеи и желоба весьма сложен, так как получаются уравнения высоких степеней, неразрешимые без упрощений, лишающих результат необходимой точности, и потому рекомендуем графический метод, предложенный американским инженером Филькинс, как наиболее простой и дающий результаты с достаточной для практических целей точностью.

В конечном итоге имеем, что ширина колеи $a = f\ (l,\ R,\ c,\ b,\ d,\ h,\ r,\ \delta)$, где:

l — жесткая база ходовых частей вагона
R — радиус кривой
c — ширина желоба
b — ширина насадки
d — ширина реборды
h — высота реборды
r — радиус окружности бандажа
δ — размер зависящий от формы реборды.

Кроме того, при большой точности расчета имеет влияние очертание реборды.

В свою очередь $c = f\ (d,\ v,\ w)$, где:

v — зазор между ребордой и головкой наружного рельса
w — зазор между ребордой и губкой наружного рельса.

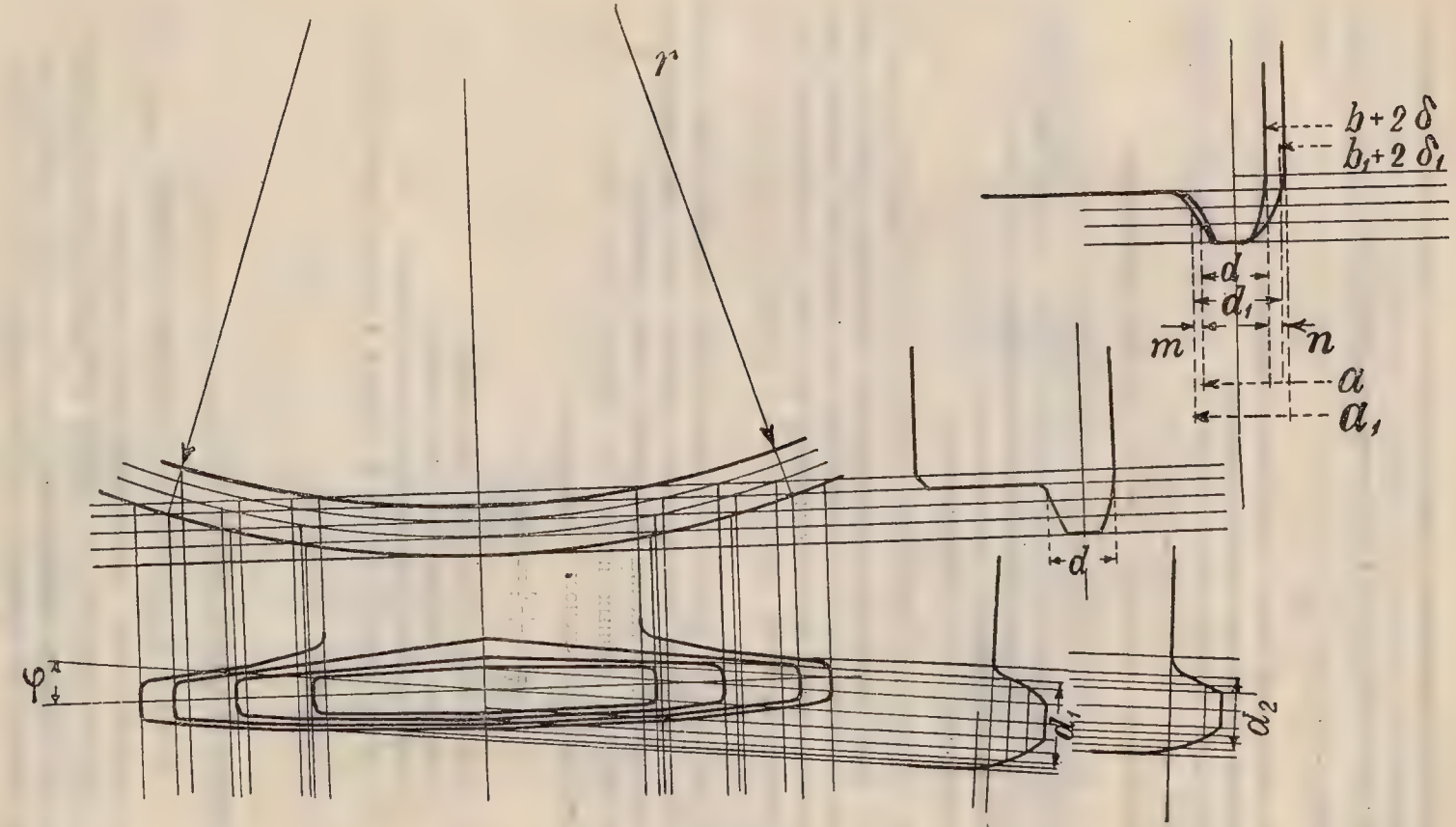
Графический метод (см. черт. 144) сводится к определению размеров и формы минимального желоба или искаженной реборды, в зависимости от радиуса кривой R и базы ходовых частей l, и, в конечном итоге, к определению проекции бандажей колесного ската на вертикальную радиальную плоскость, проходящую через центр оси колесного ската; горизонтальный след этой плоскости представляется на чертеже 143 линией OM.

Рассмотрение поперечного разреза рельсовой колеи и бандажей колесного ската в этой плоскости дает возможность установить простую зависимость между элементами рельсовой колеи и колесного ската, удовлетворяющую поставленному требованию.

Из чертежа 143 видно, что бандаж колесного ската проектируется без искажения на вертикальную плоскость, горизонтальный след которой линия OK; для получения проекции реборды на плоскость, след которой OM, необходимо определить угол φ_1, равный углу удара.

Для практических целей, с достаточной точностью, угол φ_1 можно заменить углом $\varphi = arcSin \frac{l}{2R}$.

На чертеже 144 представлен графический способ определения ширины минимальных желобов (искаженных реборд) для данной реборды по углу $\varphi = arcSin \frac{l}{2R}$; он представляет собой одну из простых задач начертательной геометрии и потому не требует пояснений.



Черт. 144.

Графический метод определения ширины минимального желоба.

Общий ход определения ширины желоба и колеи выразится в следующем виде:

По данной базе вагона l мы определяем для группы радиусов R углы φ по формуле $\varphi = arcSin \frac{l}{2R}$.

По полученным углам φ для данного бандажа и реборды определяем минимальные желоба (искаженные реборды).

Совмещаем с нормальным поперечным сечением реборды и находим искажение, как показано на чертеже 144.

Обозначения, приведенные на этом чертеже, следующие;

d_1 — искаженная рабочая ширина реборды: $d_1 = d + m + n$,

a_1 — искаженная ширина колесной колеи: $a_1 = a + 2m$,

$b_1 + 2\delta_1$ — искаженная рабочая ширина насадки: $b_1 + 2\delta_1 = b + 2\delta - 2n$,

где m — искажение реборды внаружу колеи,

n — искажение реборды внутрь колеи.

Для установления зависимости между элементами рельсовой колеи и колесного ската рассмотрим расположение искаженного колесного ската (проекцию колесного ската на вертикальную радиальную плоскость, проходящую через центр оси и находящуюся под углом φ к радикальной плоскости, перпендикулярной продольной оси вагона) на рельсовой колее (см. рис. 145).

На чертеже 145 представлено расположение переднего ската вагона в том случае, когда на боковой износ работает лишь губка внутреннего рельса (штриховкой показаны допускаемые износы рельсов).

Из опытных данных имеем, что боковой износ губки в $1^1/_2$ раза больше вертикального износа головки, т.-е.

$$\eta = v + \psi = 1{,}5\ \xi \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

где η — допускаемый боковой износ губки

ψ — допускаемый боковой износ головки

ξ — допускаемый вертикальный износ головки

v — зазор между ребордой и головкой в начале работы кривой.

Из (1) определяем величину:

$$v = 1{,}5\ \xi - \psi,$$

далее определяем ширину желоба рельса:

$$c_1 = w + d_1 + v \leqq 40 \text{ мм. (по условиям прокатки)} \quad \ldots\ldots \quad (2)$$

c_1 — ширина желоба специального рельса для кривых,

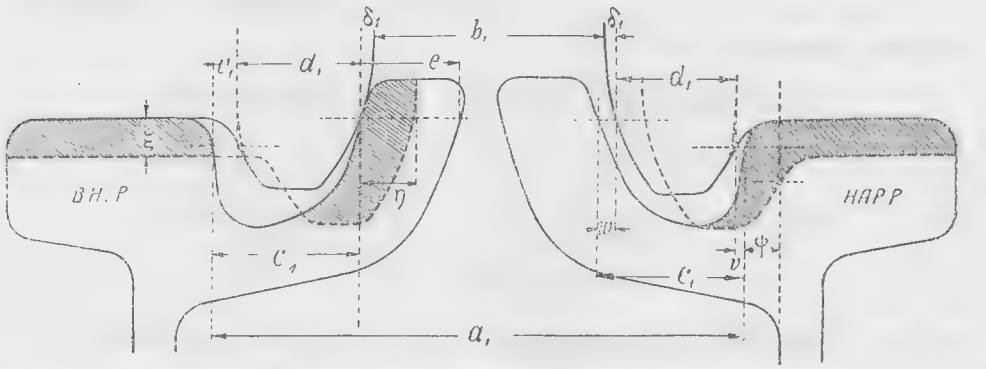
d_1 — ширина минимального желоба для данного радиуса кривой R, определенная графически.

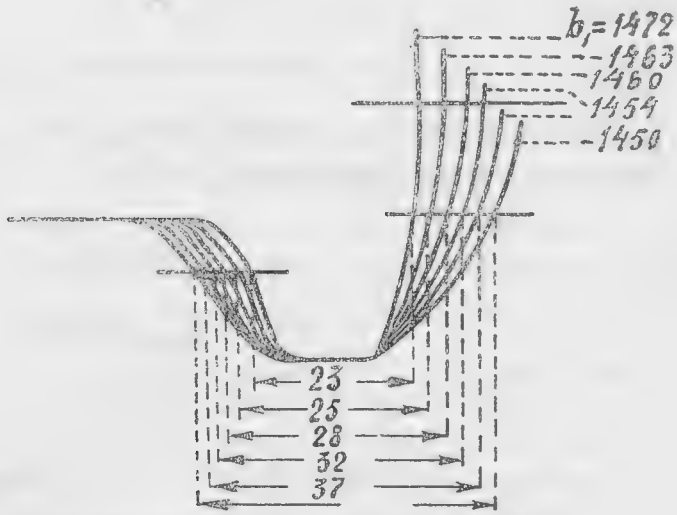
w — зазор между ребордой и губкой рельса.

Величина w должна удовлетворять тому условию, чтобы в самом невыгодном случае колесный скат не был зажат между губками рельсовой колеи, — что будет соответствовать уширенной колее и обуженной насадке. Так как обычно допуски в ширине насадки и колеи принимают

$$a \pm 2 \text{ мм. и } b \pm 2 \text{ мм., то } w \geq 5 \text{ мм.,} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

принимая 1 мм. на запас.





Черт. 145.

Эпюра расположения минимальных желобов на рельсовой колее.

Ширина колеи, как видно из чертежа, определится:

$$a_1 = 2c_1 - w + b_1 + 2\delta_1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

Из формулы (2) видно, что ширина желоба величина переменная, $c_1 = f\ (d_1)$, и для данной реборды и базы: $c_1 = f\ (R)$; фактически ширину

желоба принимают за величину постоянную, т.-е. для кривых малых радиусов, $R \leq 40$ м., имеется лишь один тип специального рельса.

Поэтому в выражении (4): $2c_1 - w = Const$, и ширина колеи $a_1 = f(b_1 + 2\delta_1)$.

Из чертежа 144 мы имеем, что

$$b_1 + 2\delta_1 = b + 2\delta - 2\ n.$$

Если принять, что искажение реборды с внутренней и наружной стороны одинаково, т.-е. $n = m$, то

$$b_1 + 2\delta_1 = b + 2\delta + d - d_1, \text{ и тогда ширина колеи}$$

$$a_R = 2c_1 - w + (b + 2\delta)_{R=\infty} + d_{R=\infty} - d_R,$$

$$\text{или, так как } 2c_1 + (b + 2\delta)_{R=\infty} + d_{R=\infty} = Const, \text{ то}$$

$$a_R = A - d_R - w, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

при чем d_R определяется измерением искаженных реборд по масштабу.

В пределах точности до 1 мм. изменение величины d_R можно выразить, как $f\ (e, R)$, и тогда:

$$a_R = A - w - \left(B + c\,\frac{l}{R}\right) \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

Для пояснения изложенного приведем, как пример, расчет ширины колеи для условий Ленинградского трамвая:

Данные:

$$a_{R=\infty} = 1524 \text{ мм.}$$

$$(b + 2\delta)_{R=\infty} = 1472 \text{ мм.}$$

$$d_{R=\infty}\ 22 \text{ мм.}$$

$$l = 3{,}3 \text{ м. и } c = 40 \text{ мм.}$$

Поперечный профиль реборды представлен на чертеже 146.

Закон изменения d определяется формулой:

$$d_R = 15 + 100\,\frac{l}{R} = 15 + \frac{330}{R}$$

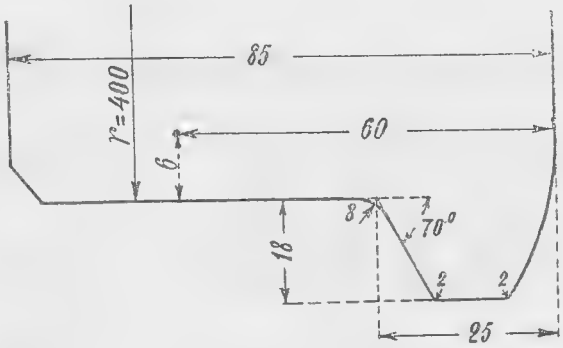
$$a_R = 2c - w + (b + 2\delta)_{R=\infty} + d_{R=\infty} - d_R = 2 \times 40 +$$

$$+ 1472 + 22 - w - \left(15 + \frac{330}{R}\right) = 1574 - w - \left(15 + \frac{330}{R}\right)$$

$$\Delta\alpha_R = a_R - 1524 = 50 - w - \left(15 + \frac{330}{R}\right); \; Sin\,\varphi = \frac{l}{2R} = \frac{1{,}65}{R}, \; \xi = 12 \text{ мм.}$$

$$\eta = 1{,}5 \; \xi = 18 \text{ мм.}; \; \psi = 10 \text{ мм.}$$

На основании приведенных данных составлена таблица, где для контроля приведены значения максимум a_R, при котором скат зажат между губками, и минимум a_R, когда скат зажат между головками рельсов. (Таблицу уширения колеи см. на стр. 184).



Черт. 146.

Попер. профиль реборды Ленингр. трамвая.

Из рассмотрения таблицы можно притти к следующим выводам:

1) Формула $d_R = 15 + 100\frac{l}{R}$ дает изменение ширины реборды с точностью до 1 мм., что достаточно для практических целей.

2) Осуществить схему работы одних губок для данной ширины желоба, $c = 40$ мм., возможно лишь для кривых радиусов $R \geq 25$ м., так как для меньших радиусов $v < 7 < (1{,}5\,\xi - \psi)$.

3) Отсюда ясно, что для кривых радиуса $R < 25$ м., для использования полностью допускаемых износов, необходимо после износа головки рельса на величину $8 - v_R$ сделать уширение колеи на эту величину.

4) Для кривых радиуса $R > 40$ м., для данной базы и реборды, уширение реборды не наблюдается, и посему укладывать специальные рельсы нет оснований; в случае же их укладки, уширения сверх 18 мм. делать не следует, иными словами, формула $d_R = (15 + 100\frac{l}{R})$ применима для радиусов $R \leq 40$ м.

5) Если применять схему одновременной работы головок и губок рельсов, что соответствует значению $v = 0$, то при постоянной ширине желоба уширение колеи остается величиной постоянной: $c = 40$ мм., $\Delta\alpha_R = 10$ мм.

Радиус R_n	∞	50	40	35	30	25	20	18	16	15	14
Угол $\varphi = arc\,Sin\,\frac{l}{2R}$	0	—	—	—	3°9′	3°47′	4°43′	—	5°53′	—	—
Шир. реборд. d_R графич.	22	—	—	—	25	23	32	—	37	—	—
Ширин. реборды $d_R = \left(15 + 100\,\frac{l}{R}\right)$	—	22	23	25	26	28	32	34	36	37	39
Ширина насадки $b_1 + 2\delta_1 = (b + 2\delta)_{R=\infty} + d_{R=\infty} - d_{Rn}$	—	1.472	1.471	1.469	1.468	1.466	1.462	1.460	1.458	1.457	1.455
Максимум ширины колеи $a_1 = b_1 + 2\delta_1 + 2c$	—	—	1.551	1.549	1.548	1.546	1.542	1.540	1.538	1.537	1.535
Минимум ширины колеи $a_1 = b_1 + 2\delta_1 + 2d_R$	—	—	1.518	1.519	1.520	1.522	1.528	1.528	1.530	1.531	1.533
Величина w	—	—	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Величина $v = c - w - d$	—	—	12	10	9	7	3	1	—1	—2	—4
Исправл. величина v	—	—	8	8	8	7	3	1	0	0	0
Исправл. величина $w = c - v - d$	—	—	9	7	6	5	5	5	4	3	1
Расчетная ширина колеи $a_R = A - w - d_R$	—	—	1.542	1.542	1.542	1.541	1.537	1.535	1.534	1.534	1.534
Расчетное уширение колеи $\Delta a = c - w - d_R$	—	—	18	18	18	17	13	12	10	10	10
Величина зазора w_1	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Величина зазора v_1	—	—	17	15	14	12	8	6	4	3	1
Величина v	—	—	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Величина w	—	—	17	15	14	12	8	6	4	3	1
Расчетная ширина колеи $a_R = A - w - d_R$	—	—	1.534	1.534	1.534	1.534	1.534	1.534	1.534	1.534	1.534
Расчетное уширение колеи $\Delta a_R = c - w - d_R$	—	—	10	10	10	10	10	10	10	10	10

6) В конечном итоге, для реборд близких по очертаниям и размерам к приведенной реборде Ленинградского трамвая уширение колеи с достаточной точностью можно определить для кривых $R \leqq 40$ м. по формуле:

$$\Delta\alpha_R = A - 1524 \text{ м.} - W - (15 + 100\frac{l}{R}),$$

где $A = 2c + (b + 2\delta)_{R=\infty} + d_{R=\infty}$,

и $W = c - v - (15 + 100\frac{l}{R}) \geqq 5$ мм.,

при чем величина v изменяется в пределах от $v = 0$ до $v = 1{,}5\xi - \psi$.

Для кривых радиуса $R > 40$ м. искажения реборд не получим, и для них обычно применяются рельсы с нормальной шириной желоба, $c = 32$ мм. В виду того, что губка этих рельсов не рассчитана на значительный боковой износ, направляющими движения выгоднее оставить головки рельсов при нормальной ширине колеи, принятой на прямых участках, тем более, что уширение колеи могло бы повести к защемлению колесного ската между губками рельсов.

Расчет ширины колеи на кривых для пригородных линий, уложенных из рельсов Виньоля с контр-рельсами, остается тот же, лишь с тем изменением, что можно принять схему одновременной работы головок рельсов и контр-рельсов, так как тип Виньоля допускает значительно больший боковой износ головки, чем тип „Феникс".

В нашем расчете угол удара φ, который в то же время является и углом поворота плоскости проекции, мы определяли по формуле:

$$Sin\,\varphi = \frac{l}{2R}.$$

В действительности, как видно из чертежа 143:

$$Sin\,\varphi_1 = \frac{l - x}{2R} > \frac{l}{2R}$$

Посмотрим, каковы ошибки в приближенном определении угла φ.

Из чертежа 143 имеем с достаточной степенью точности:

$$a - 2c = b + f_1 - f_2,$$

откуда:

$$f_2 - f_1 = b\,(a - 2c) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

$$x^2 = 2Rf_1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

$$(l - x)^2 = 2Rf_2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

Решая эти уравнения, имеем:

$$l^2 - 2lx = 2R(f_2 - f_1) \text{ или}$$

$$l^2 - 2lx = 2R(b - a + 2c),$$

откуда:

$$x = \frac{l}{2} - \frac{R}{2}(b + 2c - a).$$

Заменяя „a“ значением его:

$$a = 2c + b + 2\delta - W, \text{ получим:}$$

$$x = \frac{l}{2} - \frac{R}{2}(b + 2c - 2c - b - 2\delta + W) \quad \text{или } x = \frac{l}{2} - \frac{R}{2}(W - 2\delta),$$

и пренебрегая величиной 2δ, получим:

$$x = \frac{l}{2} - \frac{R}{2}W.$$

Для нашего случая, $l = 3{,}30$ м. при $R = 30$ м. и $W = 5$ мм., получим $x = 1{,}65 - 15 \times 0{,}005 = 1{,}57$ м.

$$l - x = 1{,}73 \text{ м.}$$

$$\varphi = arc\,Sin\,\frac{1{,}73}{20} = 4^\circ 56'.$$

Принимая:

$$Sin\,\varphi = \frac{l}{2R},$$

получим:

$$\varphi = arc\,Sin\,\frac{3{,}30}{2 \times 20} = 4^\circ 43'.$$

Разница получается в $13'$, что для расчета желоба значения не имеет.

Во всяком случае, из приведенных вычислений ясно, что угол удара для передней оси будет больше, чем для задней.

Для передней оси $\varphi = 4^\circ 56'$
„ задней „ $\varphi = 4^\circ 30'$.

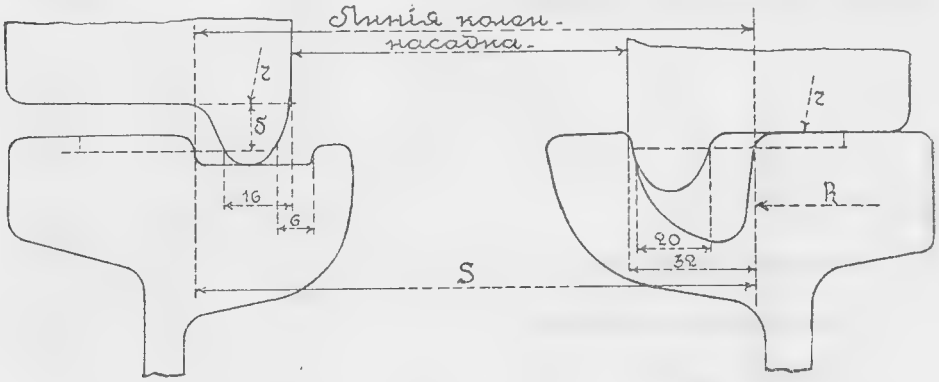
Отсюда видно, что износ от передней оси будет больше, чем от задней оси, и этим можно контролировать правильность укладки.

При правильной ширине колеи износ губки внутреннего рельса и головки наружного рельса должен быть больше износа губки наружного и головки внутреннего рельса.

Заканчивая на этом расчет ширины желоба, укажем, как осуществляется повышение наружного рельса и какие меры применяются для уничтожения явления скольжения наружного колеса на кривой.

Повышение наружного рельса.

В виду того, что для трамваев не делают конических бандажей, вопрос об уничтожении скольжения наружного колеса решался укладкой по наружной нитке рельса с повышенным дном желоба (плоский желоб). (См. черт. 147).



Черт. 147.

Укладка рельса с плоским желобом на кривой.

В этом случае наружное колесо катится не поверхностью бандажа по головке рельса, а поверхностью реборды по дну плоского желоба.

Очевидно, что пропорциональность радиусов наружного и внутреннего рельса к радиусам поверхности катания наружного и внутреннего колеса будет соблюдена лишь для вполне определенного радиуса кривой. Действительно, в уравнении

$$\frac{R+S}{R}=\frac{r+t}{r}$$

величины r, t и S вполне определенные, а следовательно вполне определенна и величина R; во всяком случае, для радиусов близких по величине к радиусу R явление скольжения будет уменьшено. На практике

укладка рельс плоского желоба вполне подтверждает вышесказанное, так как значительно уменьшает износ головки наружного рельса, который для крутых закруглений, при укладке наружного рельса с обыкновенным глубоким желобом, достигает очень значительных размеров.

Но, с другой стороны, служба плоского желоба, как такового, непродолжительна, не больше двух лет, и в следующий период плоский желоб работает, как нормальный, но с большим трением, так как реборда соприкасается с желобом по всему своему периметру. В виду этого вопрос о применении плоского желоба оставлен, и мирятся с дополнительным износом наружного рельса.

Значение рельса с плоским желобом в смысле повышения наружного рельса невелико, так как повышение это не превосходит 12 миллиметров. Вообще говоря, повышение наружного рельса делают в незначительной степени в виду незначительных скоростей принятых на кривых. Кроме того, повышению наружного рельса препятствуют условия поперечного профиля улиц. Данные практики показывают, что повышение наружного рельса, рассчитанное по формуле:

$$h = \frac{a\,v^2}{g\,R},$$

где a — ширина колеи

v — скорость движения

g — ускорение силы тяжести

R — радиус кривой,

является преувеличенным и служит нередко причиной схода задней оси внутрь колеи.

Как пример применяемых повышений наружного рельса, приводим таблицу городских и пригородных железных дорог г. Вены.

Повышение рассчитано по формулам:

$$h = 11{,}8\,\frac{v^2}{R} \text{ для значений } v \text{ от } v = 0 \text{ до } v = 1{,}971\sqrt{R} \text{ и}$$

$$h = 46{,}514\left(\frac{v}{\sqrt{R}} - 1\right) \text{ для } v \geqq 1{,}971\sqrt{R}.$$

ТАБЛИЦА ПОВЫШЕНИЙ НАРУЖНОГО РЕЛЬСА, ПРИМЕНЯЕМЫХ НА ГОРОДСКИХ И ПРИГОРОДНЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОР. г. ВЕНЫ.

R метрах.	Повышение в мм. для скоростей в километр./в час.						
	12	15	18	20	25	30	35
25	65	—	—	—	—	—	—
30	55	81	—	—	—	—	—
35	48	71	—	—	—	—	—
40	43	64	—	—	—	—	—
45	38	58	78	—	—	—	—
50	34	52	72	—	—	—	—
60	28	44	62	—	—	—	—
70	24	38	54	—	—	—	—
80	21	33	47	58	—	—	—
90	19	30	42	52	—	—	—
100	17	27	38	47	70	—	—
110	15	24	35	43	64	—	—
120	14	22	32	39	60	81	—
130	13	20	29	36	55	75	—
140	12	19	27	34	52	71	—
150	11	18	25	32	49	68	87
160	11	17	24	30	45	64	82
170	10	16	22	28	43	61	78
180	9	15	21	26	41	58	75
190	9	14	20	25	39	55	72
200	8	13	19	24	37	53	69
220	8	12	17	22	34	48	63
240	7	11	15	18	28	41	55
260	6	10	14	17	26	40	51
280	6	10	14	17	26	37	51
300	6	9	13	16	25	35	48
325	5	8	12	15	23	33	45
350	5	8	11	13	21	30	41
375	5	7	10	13	20	28	39
400	4	7	10	12	18	27	36
450	4	6	8	10	16	24	32
500	3	5	8	9	15	21	29
550	3	5	7	9	13	19	26
600	3	4	6	8	12	18	24
700	2	4	5	7	11	15	21
800	2	3	5	6	9	13	18
900	2	3	4	5	8	12	16
1000	2	3	4	5	7	11	14
1250	1	2	3	4	6	9	12
1750	—	2	2	3	4	6	8
2000	—	1	2	2	4	5	7
2500	—	1	2	2	3	4	6
3000	—	1	1	2	2	4	5
4000	—	1	1	1	2	3	4

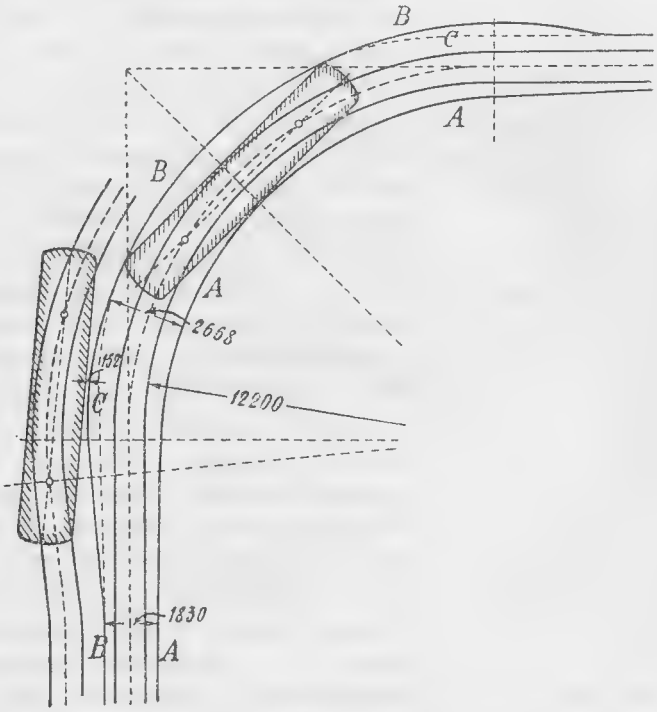
В следующей таблице приведены повышения наружного рельса для Ораниенбаумской электрической железной дороги.

ТАБЛИЦА:

Радиус оси центр. част. крив. R саж.	Повышение наружного рельса в мм. при скоростях в верстах в час.						Допускаемые на кривых скорости $\frac{\text{верст}}{\text{час}}$
	10	20	30	40	50	60	
10	64	—	—	—	—	—	10
12	53	—	—	—	—	—	—
15	43	—	—	—	—	—	—
20	32	128	—	—	—	—	20
24	27	107	—	—	—	—	—
30	21	85	—	—	—	—	—
40	16	64	144	—	—	—	30
50	13	51	115	—	—	—	—
60	11	43	96	—	—	—	—
75	9	34	77	136	—	—	40
100	6	26	58	102	—	—	—
150	4	17	38	68	107	—	50
200	3	13	29	51	80	115	60
240	3	11	24	43	67	96	—
300	2	9	19	34	53	77	—
400	2	6	14	26	40	58	—
500	1	5	12	21	32	46	—
600	1	4	10	17	27	38	—
700	1	4	8	15	23	33	—
800	1	3	7	13	20	29	—
900	1	3	6	11	18	26	—
1.000	1	3	6	10	16	23	—

Уширения междопутия.

Заканчивая главу о кривых, остается обратить внимание на то обстоятельство, что при проходе вагона по кривой кузов вагона значительно выступает за пределы пути, поэтому при укладке двупутных кривых приходится принимать особые меры во избежание задевания одного вагона за другой, встречный. Как и во многих других вопросах, тип вагона составляет важный фактор при решении этого вопроса.



Черт. 148.

Вылет кузова на закруглении без переходной кривой.

В вагонах с двухосными тележками свес кузова увеличивается, как с внутренней, так и с наружной стороны кривой; в двухосных вагонах с глухими осями свес кузова с внутренней стороны практически ничтожен, а с наружной стороны достигает значительной величины. Когда применяются оба типа, как часто случается в действительности, вопрос о свесе кузова принимает еще большее значение.

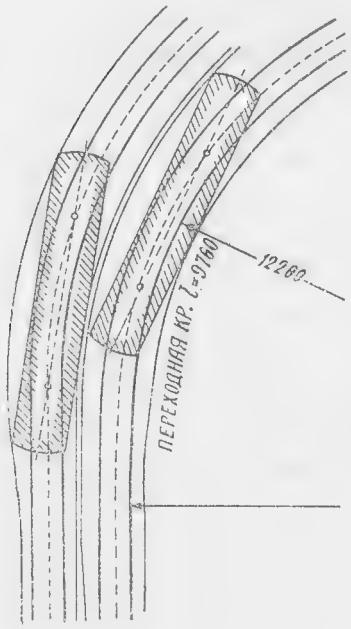
На чертеже 148 представлена схема вагона с кузовом длиной 33′ и шириной 6′, при расстоянии между вращающимся осями 19′; радиус кривой $R = 40'$.

На прямом участке пути, при ширине колеи 3′6″, нормальный свес такого вагона за пределы колеи = 1′3″.

Из чертежа видно, что на кривой $R = 40'$ свес увеличится до 2′3′ с внутренней стороны и до 3′ с наружной.

Таким образом, ширина габарита вагона на кривой вместо 6′ будет 8′9″ и ширина междопутия на кривой должна быть соответственно увеличена.

Линии AA и BB показывают пространство занятое вагоном при проходе по внутренней кривой радиуса $R = 40$ фут. Центральные части предельных линий есть дуги кругов, причем внутренняя линия AA есть касательная к средней части вагона, а наружная BB проходит через крайние точки кузова. В концах эти дуги сопрягаются с предельными линиями, идущими вдоль прямого участка пути, посредством переходных кривых, очертание которых получится посредством последовательного наложения плана вагона на осевую линию кривой. Когда это сделано для внутренней кривой, то положение центральной линии внешнего пути определится продвиганием плана вагона по внешней кривой с оставлением между кузовами требуемого расстояния (принято на черт. 6 дюймов); делая наколы в центрах осей и соединяя их кривой, получим осевую линию наружной кривой. Из ее очертания видно, что когда внутренняя кривая взята, как простая дуга круга, то в результате внешняя кривая соединяется с прямой посредством обратной кривой. Этого можно избежать, проложив сначала внешний путь, а потом уже определяя точки осевой линии внутренней кривой.



Черт. 149.

Вылет кузова на закруглении с переходной кривой.

Соответствующим подбором переходных кривых можно достигнуть вполне хороших результатов.

Примерная схема показана на чертеже 149.

На практике необходимое уширение междопутия достигается трассировкой кривой наружного и внутреннего путей одним и тем же радиусом из разных центров, как это видно из чертежа 150.

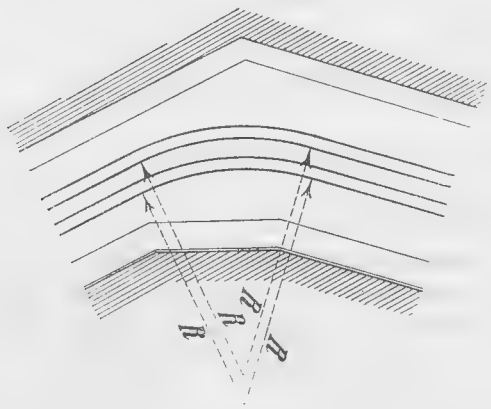
Необходимо отметить, что вылет вагона внаружу кривой тем более, чем больше свешивающаяся часть кузова вагона, вылет внутрь кривой тем больше, чем больше расстояние между осями для двухосных вагонов или расстояние между центрами двухосных тележек для четырехосных вагонов.

Увеличение габарита может быть подсчитано аналитически для данного вагона и кривой.

Действительно, из чертежа 151 имеем:

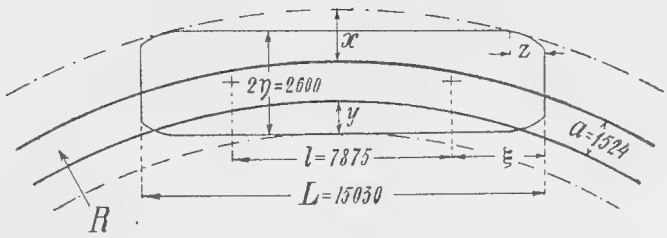
$$y = \frac{2\eta - a}{2} + \frac{l^2}{8R}$$

$$x = \frac{2\eta - a}{2} + \frac{(L - z)^2}{8R} - \frac{l^2}{8R}.$$



Черт. 150.

Трассировка внутр. и наружного путей одним радиусом.



Черт. 151.

Схема расположения кузова вагона на кривой.

Вычисленные по этим формулам значения x и y, а равно и величины междопутия помещены в прилагаемой таблице для вагона Ораниенбаумской электрической железной дороги.

Радиусы в саженях.	y мм.	x мм.	$m = x + y + 400$ мм.	Необходимое уширение $k = m - (3180 - 1524)$. в мм.
40	629	635	1664	8
30	659	673	1732	76
24	690	695	1785	129
20	720	725	1845	189
15	780	819	1999	343
12	842	870	2112	456
10	905	959	2264	608

Примечание:

m — расстояние между внутренними гранями рельсов двух путей при расстоянии между габаритами — 400 мм.

k — величина уширения междопутия. Между осями путей на прямых принято $k = 3.180$ мм. или 1,49 саж.

Для радиусов больше 40 саж. уширения междопутия не требуется.

ГЛАВА VII.

Узловые соединения.

Типовые схемы и основные элементы.

Выше уже было указано, что одна из главных особенностей городской сети путей — это ее узловой характер; отсюда ясно, что узловые соединения являются одним из наиболее важных элементов пути. В крупных городах, с развитой сетью путей, стоимость узловых соединений достигает до 30% общей стоимости путей, и поэтому необходимо обратить особое внимание на рациональное их проектирование и выбор соответствующих конструкций в целях наибольшей долговечности их службы.

Разнообразие углов пересечения улиц, их ширины, и недостаток места создают большие затруднения для проекта и влекут за собой, в зависимости от густоты сети, весьма сложные эпюры узлов. Для характеристики приведем несколько примеров узловых соединений.

На чертеже 152 изображен узел, уложенный на углу Большого пр. и 8-й линии Васильевского острова в Ленинграде. В данном случае имеется пересечение путей, уложенных по Большому проспекту, с путями, уложенными по 8-й линии, и соединение их с трех сторон при помощи ответвлений.

Подобная схема дает возможность движения подвижного состава по следующим направлениям:

1) движение по Большому проспекту,

2) движение по 8-й линии,

3) движение с 8-й линии на Большой проспект и обратно по трем направлениям,

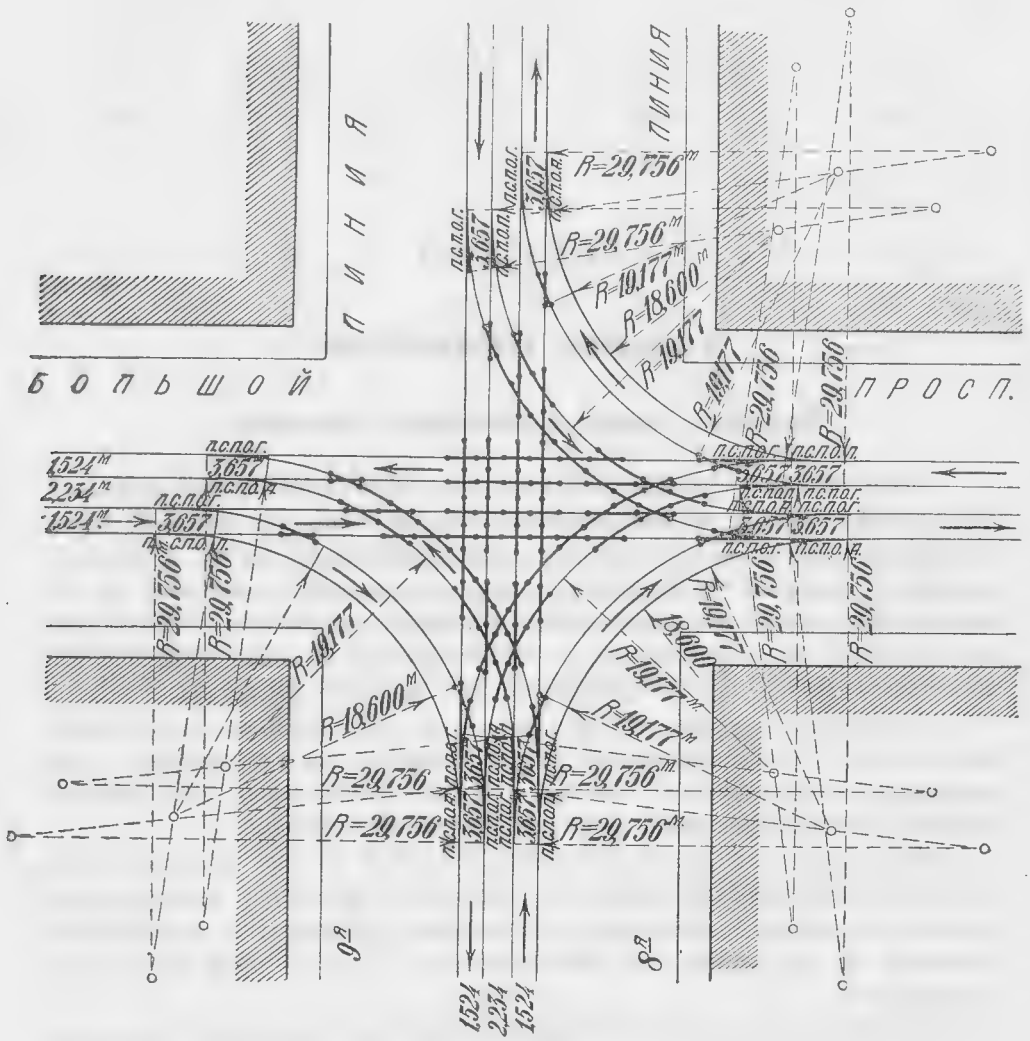
4) возврат вагонов по 8-й линии и Большому проспекту при помощи треугольника.

Подобные схемы встречаются на городских железных дорогах очень часто в различной степени развития.

Начиная с простого случая, мы получим:

1) простое пересечение путей (черт. 153, 154, 155)

2) ответвление путей (черт. 156, 157, 158),

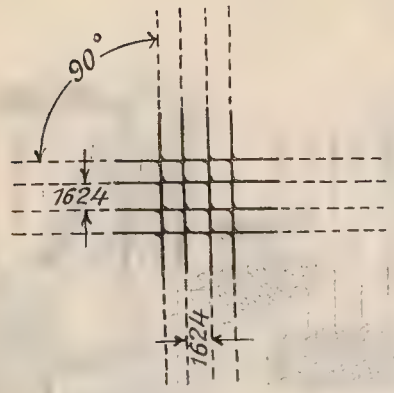


Черт. 152.

Узел на углу Большого пр. и 8-й линии (Васильевский Остров в Ленинграде).

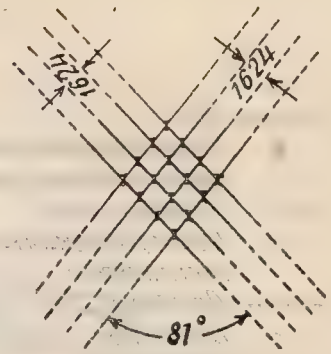
3) пересечение путей, соединенных односторонним ответвлением (черт. 159),

4) пересечение путей, соединенных двухсторонним ответвлением (черт. 160),



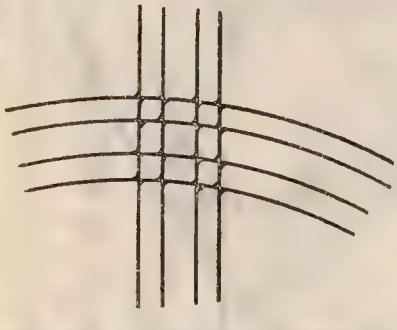
Черт. 153.

Пересечение путей.



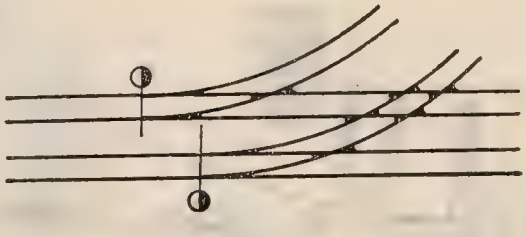
Черт. 154.

Пересечение путей.



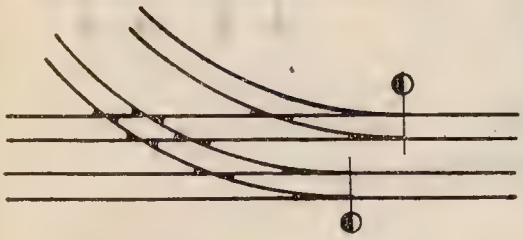
Черт. 155.

Пересечение путей.



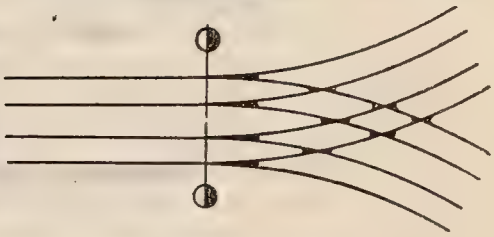
Черт. 156.

Левое ответвление путей.



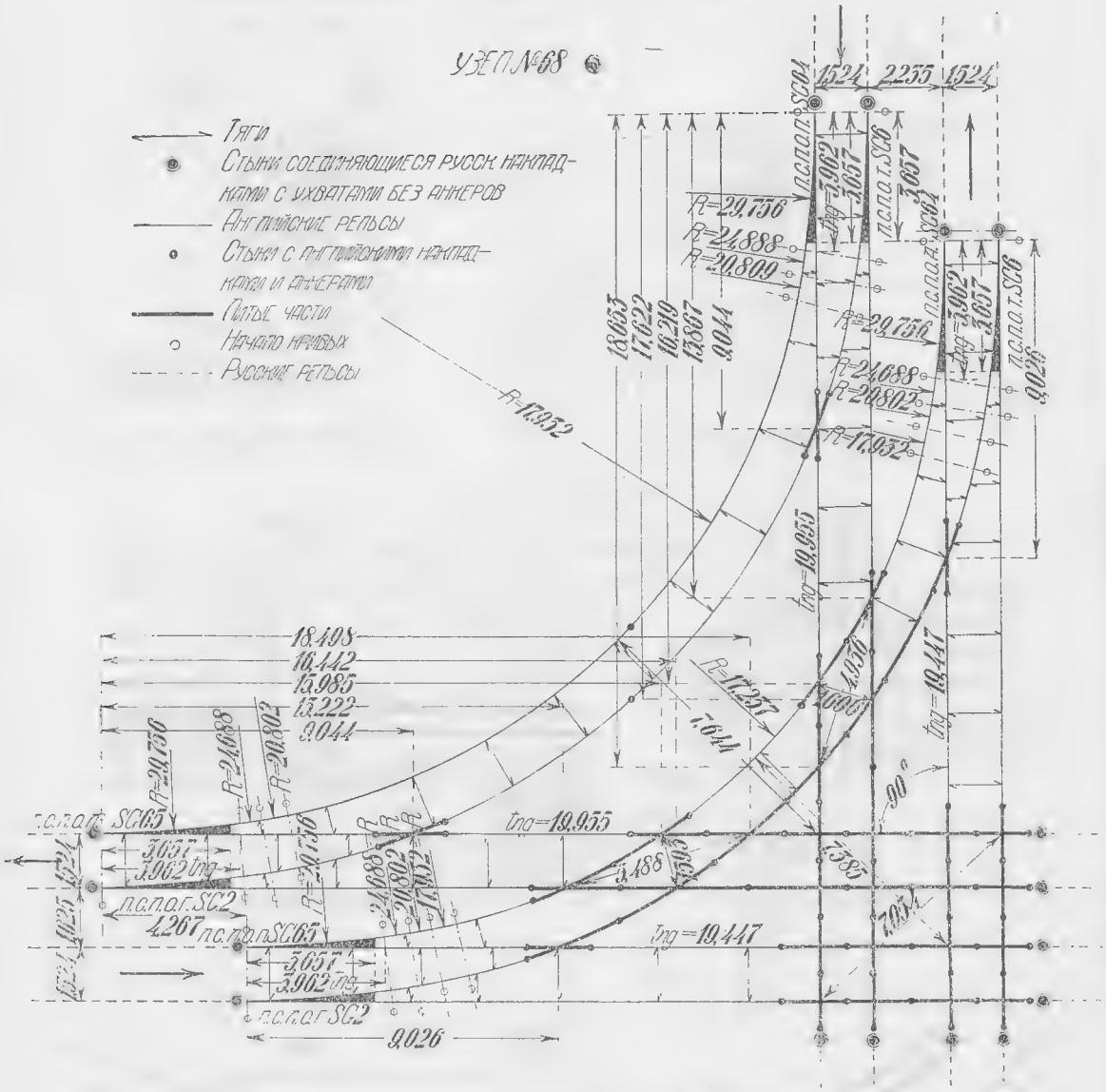
Черт. 157.

Правое ответвление путей.



Черт. 158.

Симметричное ответвление путей.

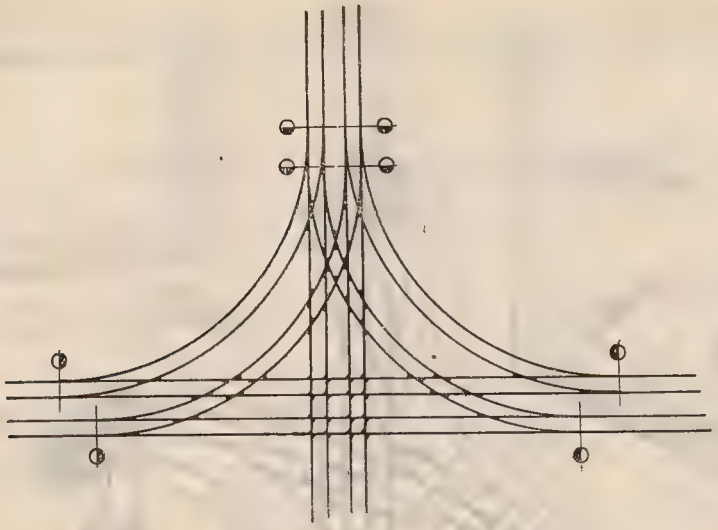


Черт. 159.

Пересечение с односторонним ответвлением.

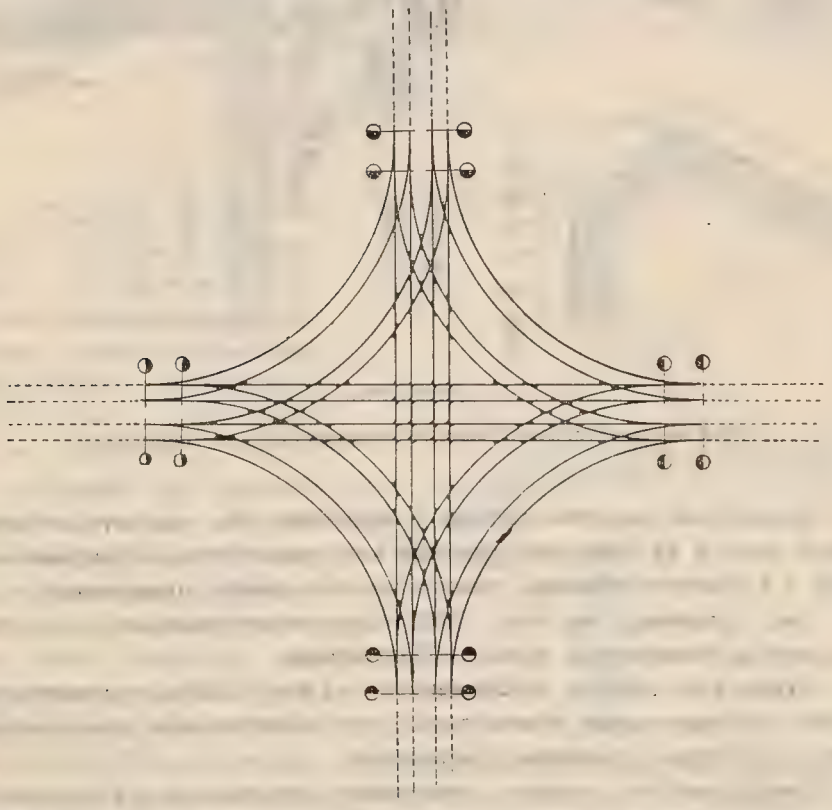
5) пересечение путей, соединенных трехсторонним ответвлением (черт. 152),

6) пересечение путей, соединенных четырехсторонним ответвлением (черт. 161).



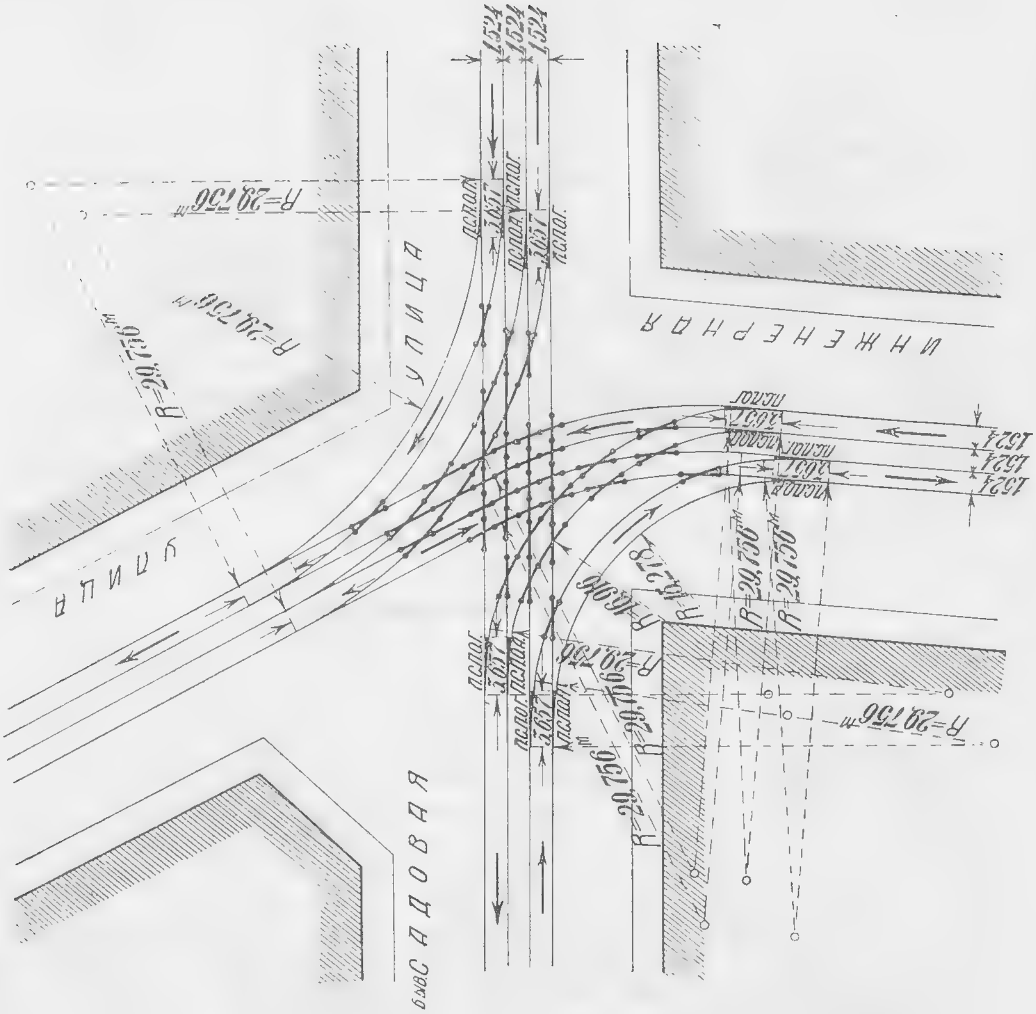
Черт. 160.

Пересечение с двусторонним ответвлением.



Черт. 161.

Пересечение с четырехсторонним ответвлением.



Черт. 162.

Узел на углу ул. 3-го Июля и Инженерной ул. в Ленинграде.

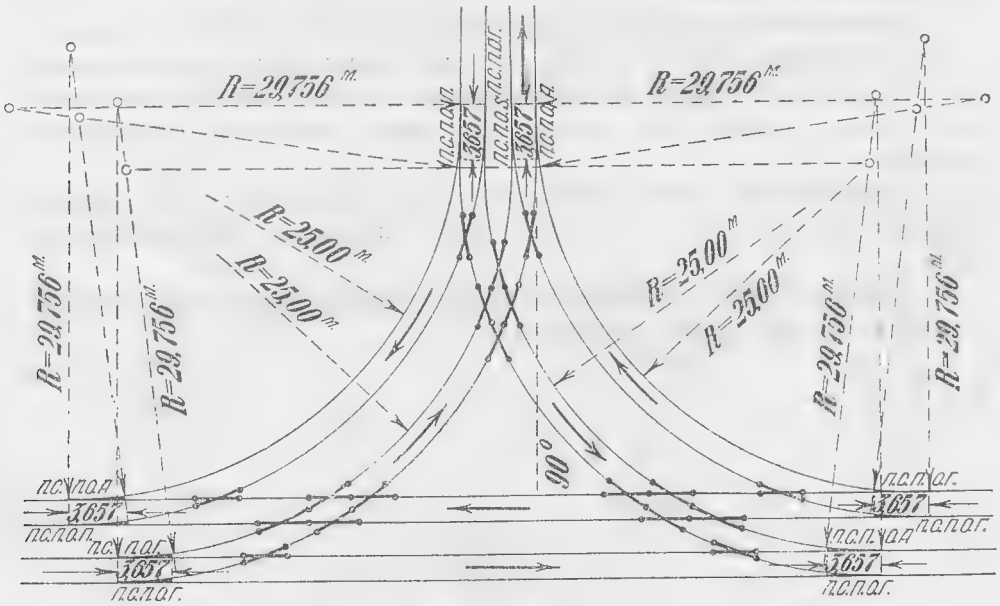
Дальнейшее различие состоит в величине угла, под которым пересекаются пути, в их очертании (прямые или кривые пути), в ширине междопутия и в радиусе кривизны соединительных кривых ответвлений.

Так, например, на черт. 162 представлен узел на углу Улицы 3-го июля и Инженерной улицы в Ленинграде.

Схема узла подобна изображенному на фиг. 152 и отличается количеством соединительных ответвлений, углом и очертанием пересекающихся путей и радиусами кривизны ответвлений.

Следующий тип узлового соединения представлен на чертеже 163, изображающем входной узел в парк им. Скороходова (б. Василеостровский парк) с путей Среднего просп.

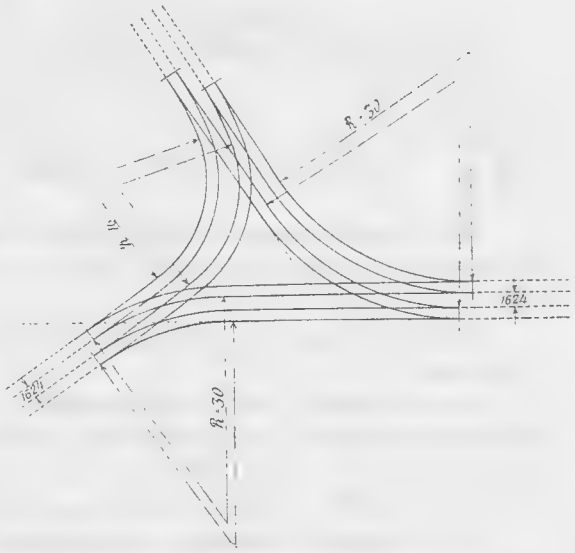
Здесь мы имеем соединение путей, идущих по направлению перпендикулярному друг к другу, при помощи двусторонних ответвлений.



Черт. 163.

Входной узел в парке им. Скороходова.

Подобная схема тоже часто применяется в трамваях и различается по углам между направлениями путей, радиусам ответвлений, ширине междопутий и очертанию соединяемых путей (черт. 164 и 165).



Черт. 164.

Соединение путей, сходящихся под косым углом.

Чертеж 166, представляющий кольцо на пл. Восстания (бывш. Знаменская площадь) в Ленинграде, указывает, что та же схема применена для соединения кривых путей кольца с прямыми путями проспекта 25-го Октября. Кольцо дает возможность возврата вагонов без маневров со стороны Лиговки, от Октябрского вокзала и от б. Северной гостиницы и, кроме того, соединяет пути

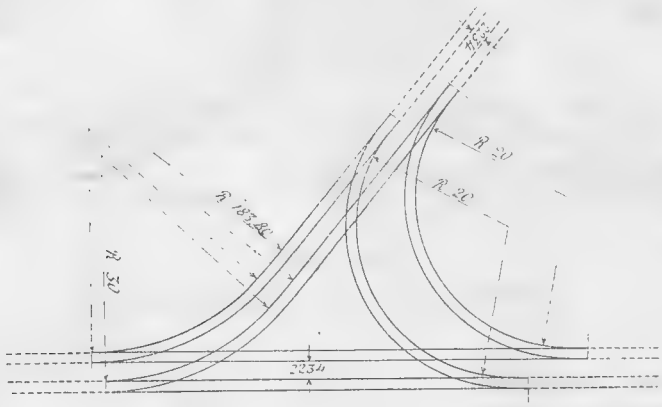
пр. 25 го Октября с путями Лиговской улицы по направлению к вокзалу и к Северной гостинице.

Схема эта может служить примером двупутного кольца, позволяющего производить оборот вагонов по всем прилегающим направлениям.

На черт. 167 указана примерная схема оконечной петли с одним запасным путем, а черт. 168 представляет схему однопутного внутреннего кольца.

Для парковых путей характерна схема стрелочной улицы, представленная на черт. 169, и схема двойного перехода, изображенного на нем же.

Наконец, черт. 170 представляет схему простого одиночного перехода, соединяющего два пути одной линии.



Черт. 165.

Соединение путей, сходящихся под косым углом.

Как пример более сложных узловых соединений, приведем схему узла на площади Собора в Милане (черт. 171) и кольцо у Центрального вокзала (черт. 172) там же.

Затем, на черт. 173 представлена схема узла Ильфордского трамвая, в Англии.

Рассмотрение этих схем показывает, что, несмотря на большую или меньшую сложность и разнообразие геометрических элементов, каждый узел состоит из комбинации пересечений путей, ответвлений путей и соединительных кривых.

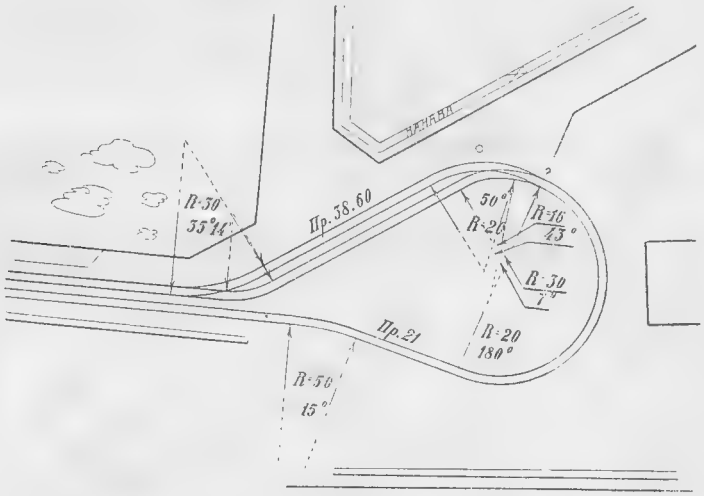
Эти основные элементы узлов, вообще говоря, подобны аналогичным конструкциям железнодорожных путей и состоят из стрелок, крестовин и промежуточных рельсов, — но, вследствие недостатка места, местные условия плана данных улиц и площадей в значительной степени влияют на геометрические элементы узла, в результате чего получается значительное количество типов стрелок и, особенно, крестовин.

Черт. 166.

Трамвайное кольцо на площади Восстания в Ленинграде.

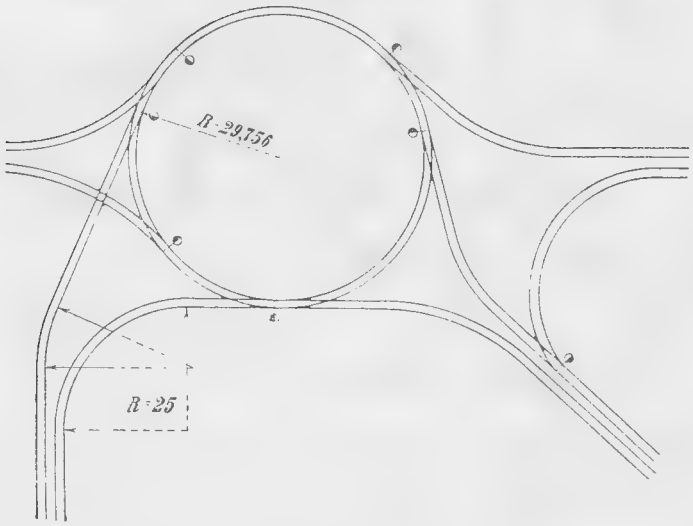
Раньше чем перейти к детальному описанию стрелок и крестовин городских железных дорог, установим вкратце условия работы стрелочного ответвления (стрелочного перевода), составляющего основную часть каждого узлового соединения.

Стрелочный перевод, схематически изображенный на чертеже 174, должен удовлетворять возможности движения по двум направлениям:



Черт. 167.

Оконечная петля.

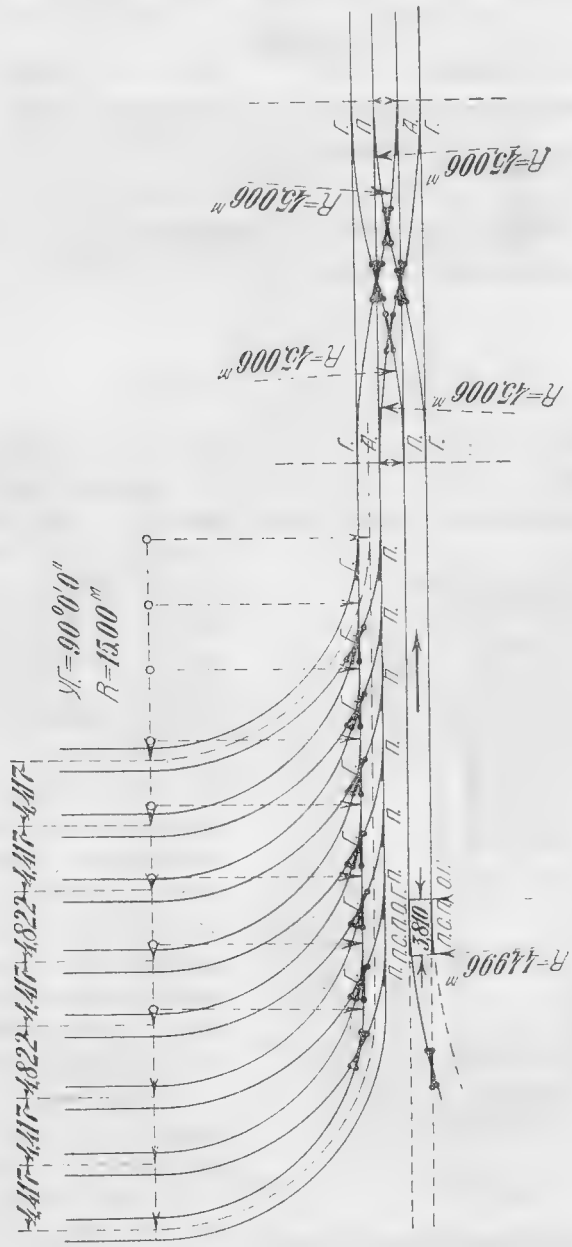


Черт. 168.

Однопутное кольцо.

1) по направлению прямого пути AB и 2) по ответвлению AC. В обоих случаях движение должно совершаться без ударов и толчков и без больших трений во избежание износов бандажей и рельсов.

Приведенная схема представляет стрелочный перевод правого ответвления и состоит из стрелки, переводной кривой и крестовины. Стрелка состоит из рамных рельсов и подвижных перьев, вращающихся около то-

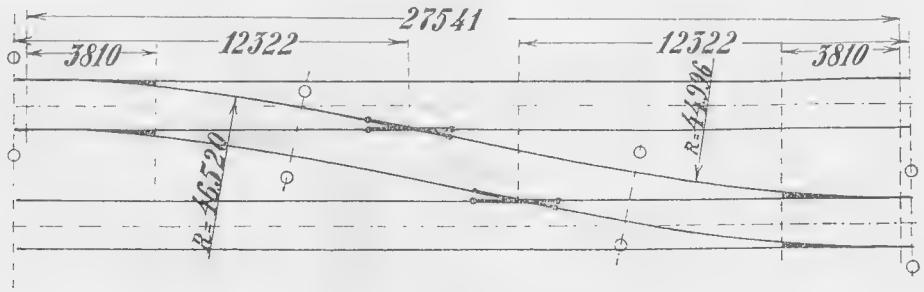


Черт. 169.

Стрелочная улица парковых путей.

чек O и O_1 и соединенных друг с другом в неизменном положении. Рамные рельсы являются продолжением наружного прямого рельса и внутреннего кривого рельса. На схеме указано положение стрелки „на ответ-

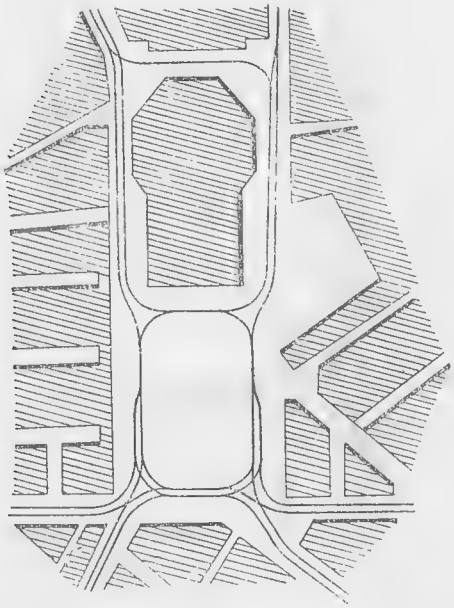
вление", причем на протяжении стрелки внутренним рельсом кривой служит внутренний кривой рамный рельс стрелки, а наружным рельсом кривой—наружное кривое перо стрелки, которое и является



Черт. 170.

Схема одиночного перехода.

направляющей движения по кривой. В обратном случае, при положении стрелки „на прямой путь", наружное перо стрелки будет отведено, и внутреннее прямое перо прижато к внутреннему рамному рельсу, т. е. непрерывным продолжением наружного рельса пути будет служить наружный рамный рельс, а продолжением внутреннего рельса—внутреннее прямое перо стрелки. В месте пересечения рельсов, непрерывность которых нарушается, уложена крестовина, причем боковые перемещения в горизонтальной плоскости ограждаются контр-рельсами, а перемещения в вертикальной плоскости предупреждаются особой конструкцией крестовин.



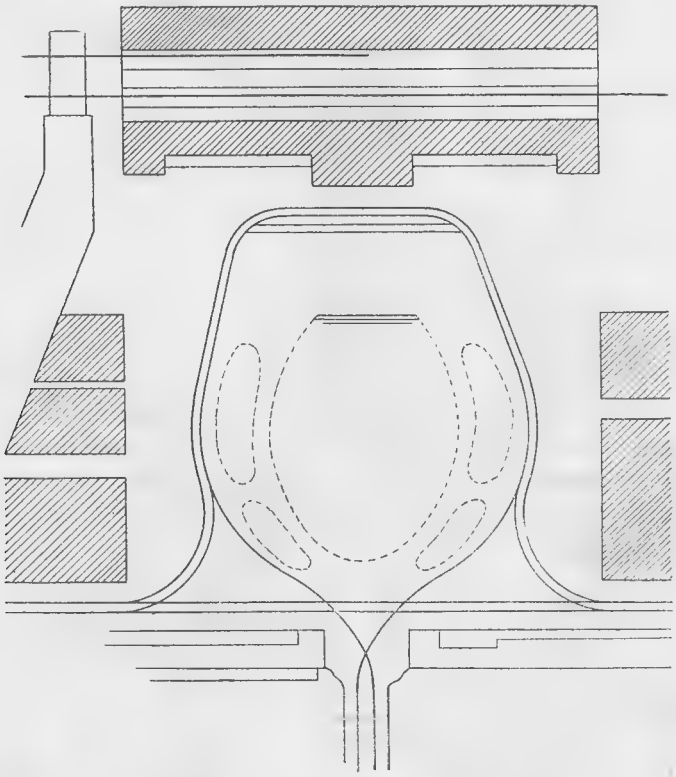
Черт. 171.

Схема узла на площади Собора в Милане.

Указанная схема работы стрелочного перевода принята на железных дорогах нормального типа и полностью сохранена на пригородных железных дорогах в тех случаях, когда пути выделены из пределов экипажного движения и незамощены. В указанной схеме сохранен основной принцип прохода подвижного состава по кривым, принятый на железных дорогах нормального типа, т. е., что

направляющей движения по кривой служит наружный рельс, точнее — головка наружного рельса.

В городских железных дорогах, как было указано выше, направляющей по кривой служит губка контр-рельса внутреннего рельса, и посему и на стрелочном переводе надлежит сохранить ту же схему.



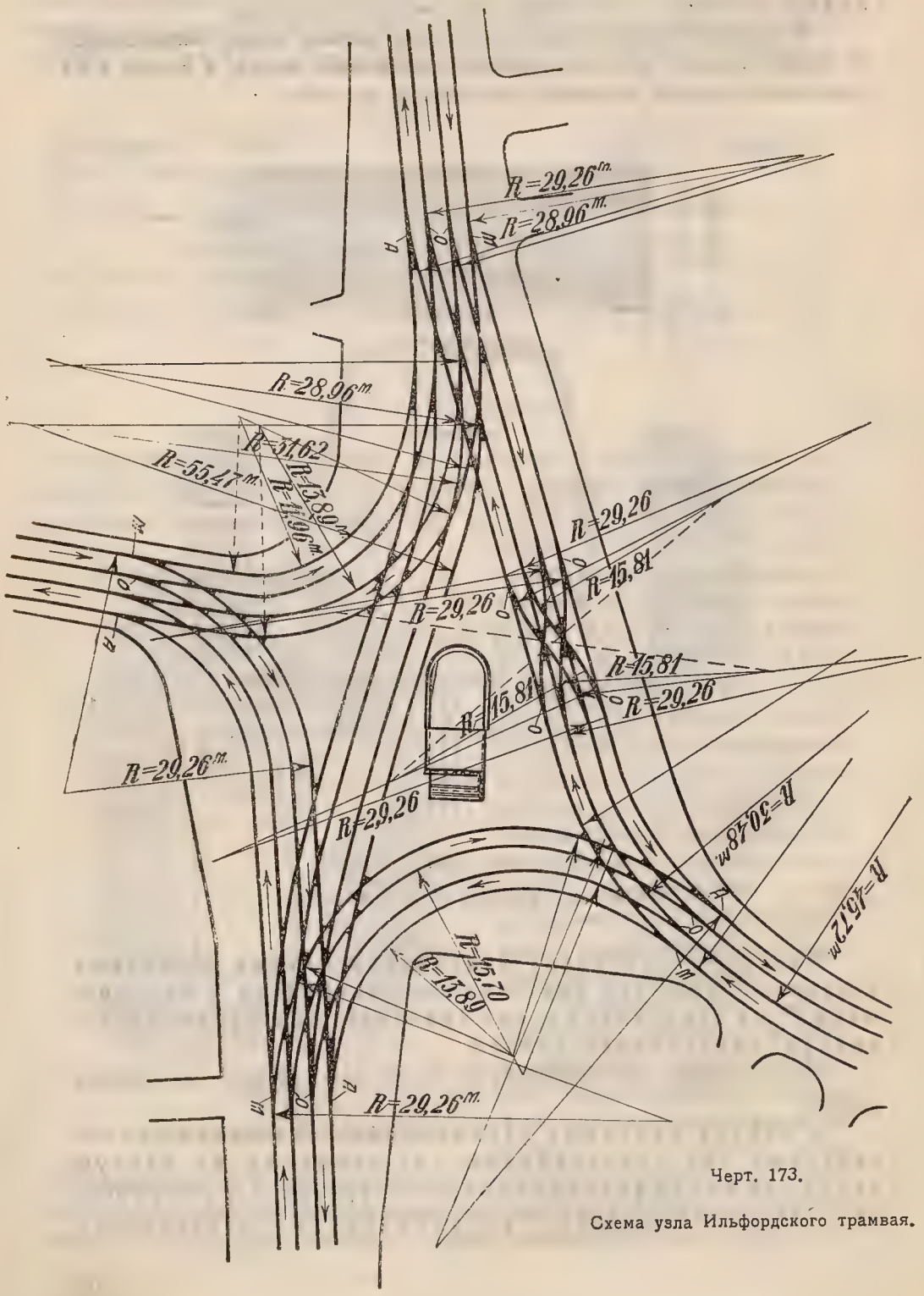
Черт. 172.

Кольцо у центрального вокзала в Милане.

Поэтому в городских стрелках, в случае одноперых стрелок, подвижное перо всегда внутреннее и при движении „на ответвление" оно работает, как губка контр-рельса внутреннего рельса.

При движении „на прямой путь" то же перо работает, как головка рельса.

В случае двуперых стрелок, оба пера подвижные и работают оба одновременно: при движении на прямую наружное перо является губкой контр-рельса, а внутреннее — головкой рельса, при движении на ответвление



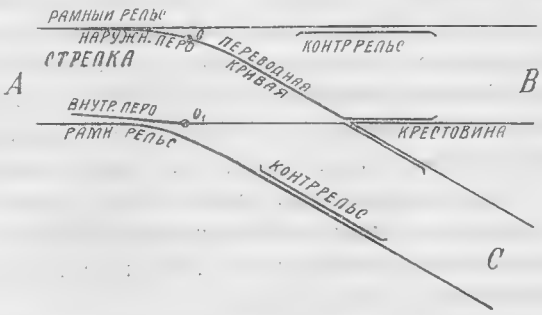
Черт. 173.

Схема узла Ильфордского трамвая.

наружное перо работает, как головка рельса, внутреннее — как губка контр-рельса.

Установив основное различие в работе стрелок железнодорожных и городских, отметим главные требования, которые предъявляются к стрелкам.

На чертеже 175 схематически представлена стрелка нормального железнодорожного типа.



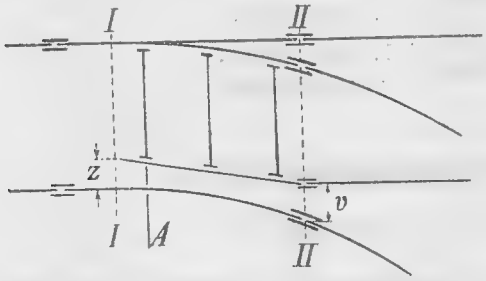
Черт. 174.

Схема стрелочного перевода.

Чтобы удовлетворить требованию плавного движения без толчков и ударов, необходимо:

1) чтобы в сечении I—I, соответствующем острию перьев, работающее перо плотно прижималось к рельсу, а неработающее было отведено от рамного рельса на такое расстояние z (шаг стрелки), чтобы удар бандажа в отведенное перо был невозможен,

2) чтобы на протяжении кривой, между сечениями I — I и II — II, ширина колеи имела надлежащую величину, в соответствии с радиусом кривой R и величиной жесткой базы вагона l, т. е. $a = f\ (R, l)$, как указано в главе о кривых,



Черт. 175.

Схема нормальной жел.-дор. стрелки.

3) чтобы в сечении II — II, соответствующем корню пера (пята пера), расстояние „v“ было достаточно во избежание ударов бандажем о пяту неработающего пера,

4) чтобы укрепление пера в корне обеспечивало возможность поворота перьев без чрезмерных трений, а равно без боковых и вертикальных перемещений пяты,

5) чтобы у острия перьев был помещен переводный механизм, обеспечивающий легкий перевод перьев и гарантирующий плотное прижатие перьев к рамным рельсам,

6) наконец, конструкция стрелки должна отвечать условиям прочности и долговременной службы, при наименьшем весе и простоте конструкции.

Все указанные условия остаются в силе для пригородных и городских железных дорог, но для последних, в силу укладки их в пределах мостовых улиц и в пределах экипажного движения, необходимо приме-

нение стрелок коробчатого сечения, соответственно форме желобчатого рельса.

Обстоятельство это несколько видоизменяет пункты 1 и 3, так как шаг стрелки z и расстояние в корне v по величине своей ограничены шириной желоба, вследствие чего при двуперых стрелках изменяется и схема работы. А именно, в железнодорожных стрелках (смотри выше) всегда работает лишь одно перо (наружное при движении на ответвление и внутреннее — на прямой путь), в городских же стрелках всегда работают оба пера (наружное — как головка и внутреннее — как губка контр-рельса, при движении на ответвление; наружное — как губка контр-рельса и внутреннее — как головка, — на прямой путь).

Затем, в виду недостатка места и малой величины радиусов кривых, на городских и пригородных железных дорогах применяются исключительно кривые перья, тогда как на железных дорогах нормального типа имеют применение и прямые перья.

Сравнительно незначительная скорость движения позволяет применять так называемые глухие стрелки. И, наконец, дороговизна и затруднительность работ по смене изношенных стрелок вызвали применение литых стрелок из марганцевой стали.

Отметив главные отличия трамвайных стрелок, дадим описание лучших и наиболее употребительных типов.

При этом для удобства рассмотрения классифицируем их таким образом:

Стрелки
- I. Литые
  - 1. Одноперые.
  - 2. Двуперые.
- II. Сборные
  - 1. Одноперые.
  - 2. Двуперые.

Литые стрелки из марганцевой стали.

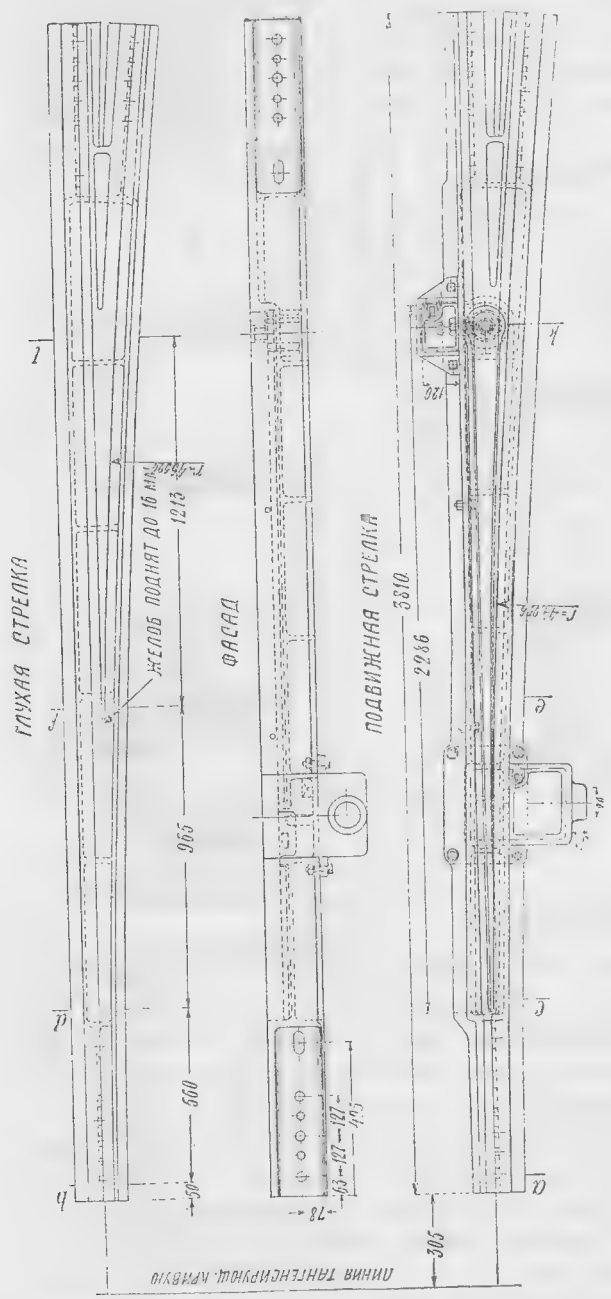
Одноперые стрелки.

Как пример, приведем стрелку Ленинградского трамвая I-й очереди; радиус кривизны пера $R = 45$ м.

Стрелка состоит из двух самостоятельных отливок, соединяющих в себе рамный рельс с контр-рельсом и остряк стрелки. В данной кривой стрелке, представленной на черт. 176, левая сторона ее с глухим неподвижным пером, правая — с подвижным пером.

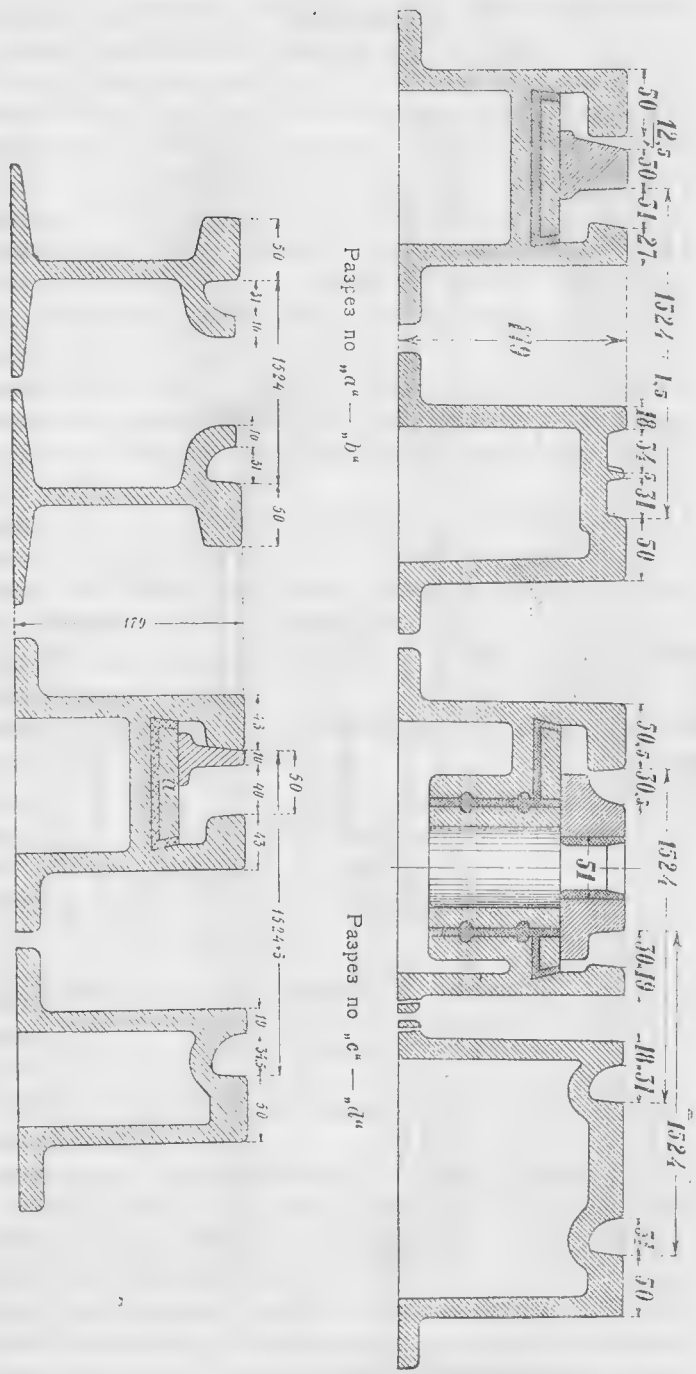
Таким образом, подвижное перо соответствует внутреннему рельсу кривой ответвления, а неподвижное перо — наружному рельсу. Эта схема принята, как было уже указано, с целью сохранить контр-рельс на внутреннем рельсе кривой, как направляющую движения. Кривые очертания обоих перьев концентричны, и радиус кривизны наружного пера больше радиуса кривизны подвижного пера на величину ширины колеи.

Из черт. 177, изображающего поперечные разрезы стрелок, видно, что стрелка представляет отливку коробчатого сечения, оканчивающуюся со стороны острия пера профилем нормального рельса, а в пяте стрелки двумя такими же профилями; такая конструкция дает возможность соединить стрелку с рельсами пути при помощи обыкновенных плоских накладок, причем стык усиливается постановкой анкера в виде куска обыкновенного рельса, скрепленного подошвой с рельсами пути и стрелки при помощи болтов. Как видно из чертежа, кривая ответвления начинается несколько ранее отливки стрелки, вследствие этого уже в начале рамного рельса мы будем иметь некоторое уширение желоба, так как контррельс отливки идет по направлению прямого пути, а головка рельса—по направлению кривого.



Черт. 176. Однопера стрелка „Гедфильд".

Математическое острие пера совпадает с началом кривой ответвления, практически перо начинается в расстоянии 800 мм. от начала кривой. Его толщина в этом месте теоретически равняется ординате y точки кривой радиуса 45 м., абсцисса которой $x = 800$ мм., откуда $y = 8{,}5$ мм. В дей-



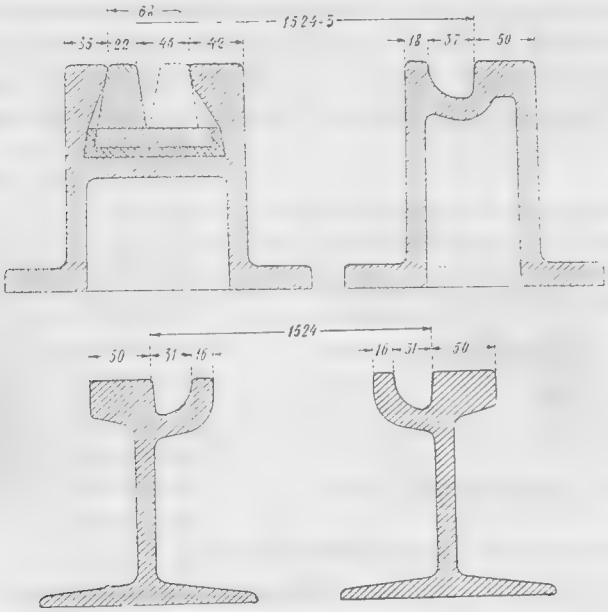
Черт. 177.

Разрезы стрелки с Т-образным сечением пера.

ствительности толщина его увеличена и равна 10 мм. В частях отливок, соответствующих контр-рельсу и головке рельса, сделаны углубления, в которые входит острие пера.

В поперечном сечении перо имеет T — образную форму с уширением подошвы для придания ему устойчивости и увеличения момента сопротивления остряка боковым усилиям, которые появляются при проходе подвижного состава. Вследствие этого боковые грани рамного рельса и контр-рельса имеют скошенную форму для возможности плотного прилегания пера.

T — образное сечение пера имеет тот недостаток, что в скошенных углублениях рельса и контр-рельса скопляется грязь, которую крайне трудно вычистить.



Черт. 178.

Поперечные разрезы стрелок с трапецоидальным сечением пера.

Практика эксплоатации показала, что для нашего климата и мостовых лучше предпочесть трапецоидальное сечение пера с наклонными слегка боковыми гранями. В таком именно направлении и внесены изменения в последних стрелках этого типа, причем толщина пера у острия доведена до 22 мм., как показано на поперечных сечениях (см. черт. 178), и радиус кривизны пера принят $R = 30$ м.

Наибольшие боковые усилия остряк испытывает, когда вагон входит на кривую, направляя колесный скат нажиманием на реборду колеса.

Это самый невыгодный случай работы пера, так как изгибающее усилие в остряке происходит у его начала, т.-е. в слабом его сечении.

В конструкции стрелки это принято во внимание и для уменьшения плеча изгибающего момента помещены болты, которые служат упором для остряка, уменьшая вдвое его свободную длину. Практика показала, что

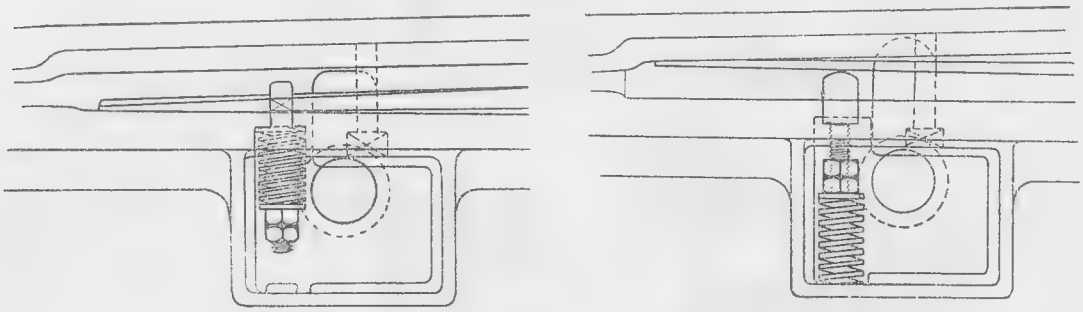
одного болта недостаточно, так как остряк пружинит. В новом типе стрелки добавлены еще два упорных болта. Иногда болты заменяются приливами к перу стрелки.

Подвижное перо в данном типе стрелки имеет длину 7′6″; оно вращается в цилиндрическом гнезде, сделанном в отливке стрелки; при кривизне пера $R = 30$ м., длина пера равна 7′.

В гнездо предварительно вставлена втулка, в которой вращается цилиндрический штырь, соединенный с пером. Благодаря этой конструкции перо может быть вынуто и заменено новым, в случае его порчи.

Легкость замены пера — обстоятельство очень важное, так как перо представляет собой наиболее изнашивающуюся часть стрелки.

В расстоянии около 620 мм. от острия перо имеет прилив с вырезом, который служит для захвата остряка механизмом для замыкания стрелки.



Черт. 179.

Замыкатель „Гедфильд" при автоматической стрелке.

Нужно различать два типа стрелок — стрелки автоматические и стрелки переводные: первые укладываются в попутных (пошерстных) стрелках и устанавливаются на боковое ответвление; при проходе вагона по прямому пути стрелка взрезывается ребордой колеса и после прохода автоматически возвращается в прежнее положение.

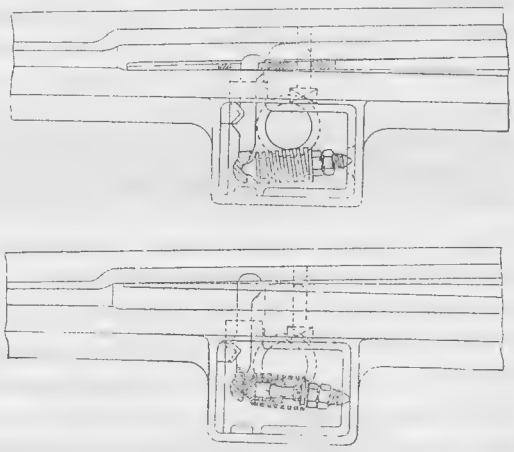
Переводные стрелки укладываются при противошерстном движении, и в этом случае перо может быть легко передвинуто посредством металлического стержня или легкого лома в нужное положение и удерживается в нем посредством замыкателя. В зависимости от типа стрелки устанавливается тот или другой замыкающий механизм. Он помещается в чугунной коробке, которая приболчена к стрелке.

При автоматической стрелке (черт. 179) пружина ставится перпендикулярно к стрелке; она надевается на болт, который проходит через вырез в стенке стрелки и проушину в пере.

Болт удерживается в проушине пера посредством удлиненной головки и поворотом его на 90° может быть укреплен неподвижно. Упи-

раясь в стенку стрелки и в шляпку болта, пружина притягивает перо к головке рамного рельса; натяжение пружины регулируется гайкой. В коробке имеется горловина, соединенная с канализационной сетью посредством керамиковых труб, диаметр которых 6″. Таким образом, коробка служит одновременно и для отвода воды из стрелки.

Та же пружина может служить и для переводных стрелок, для этого она ставится параллельно остряку, как показано на черт. 180. Посредством закругленной головки пружина упирается в чашкообразное углубление рычага. Рычаг имеет трехугольный прилив, и аналогичный прилив имеется на стенке коробки. Передвижение пера в другое положение влечет за собою и движение рычага, причем выступ рычага должен перескочить по другую сторону выступа коробки, при этом пружина сжимается и своей упругостью зажимает рычаг в новом положении, а, следовательно, и замыкает перо. Натяжение пружины регулируется гайкой. Последняя должна быть так установлена, чтобы удерживать перо в определенном положении, но в то же время давать возможность переводить его без большого усилия.



Черт. 180.

Двухходный замыкатель „Гедфильд“

Коробка закрывается сверху металлической крышкой. Механизм работает хорошо, но требует правильной установки натяжения пружины. Практика показала, что желательно несколько ближе к острию остряка располагать проушину для захвата остряка рычагом, чем достигается плотное прижатие остряка к рамному рельсу. Кроме того, климатические условия России и качество мостовых до некоторой степени препятствуют правильной работе механизма. Обилие грязи осенью и снега зимой засоряют коробку, и зимой, в сильные морозы, пружина покрывается льдом и требует очистки. Для правильности работы механизм необходимо держать в чистоте и регулировать натяжение пружины.

Как видно из чертежа 177, подошвой пера служит доска *a*, вставленная в отливку стрелки. При этом, в виду трудности обработки марганцевой стали, опорная доска отлита из обыкновенной стали и покоится на слое цинка, которым залиты все неровности. Такая конструкция преследует две цели: во-первых, дать возможность, в случае износа доски, заменить ее новой, не меняя самой стрелки, и во-вторых, избежать дорогостоющей обработки марганцевой стали, создавая перу промежуточную

опору из обыкновенной стали, поддающейся обработке. Практика показала, что при интенсивном движении доски на слое цинка расшатываются, перо, не имея твердой опоры, двигается в вертикальном направлении, получаются удары при проходе подвижного состава. Во избежание этого приходится подливать заново опорную доску, и операция эта должна производиться не реже одного раза в 2 года.

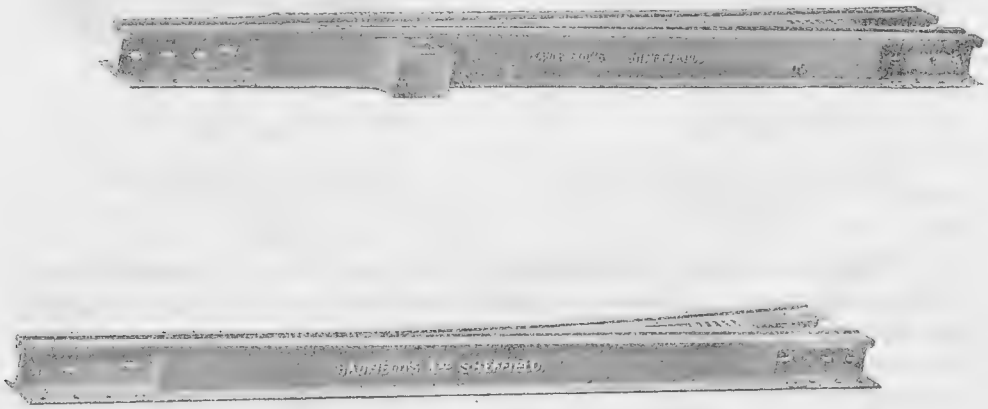
Все размеры стрелки показаны на чертеже. Вес ее около 410 кгр. (25 пудов). Левая стрелка, с глухим пером, имеет ту же форму коробчатой отливки, радиус кривизны ее на 5′ (ширина колеи) больше радиуса кривизны внутренней стрелки. Начало кривой на одной нормали с кривой внутренней стрелки, так как кривые концентричны. Расстояние острия пера от начала кривой равно 1.815 мм.; отклонение кривой на этом протяжении 38 мм., так что толщина пера равна 8 мм.

Продольные разрезы стрелки иллюстрируют детали пера и накат желоба, который в расстоянии 500 мм. от острия пера имеет глубину 16 мм. и продолжается далее, в пределах пера, тем же профилем на расстоянии 500 мм. по направлению кривой и на расстоянии 250 мм. по прямой от острия пера. Само перо сходит на нет у острия на протяжении 60 мм., и далее имеет высоту 13 мм. от дна повышенного желоба, т. е. его верхняя поверхность на 3 мм. ниже головки рамного рельса. Полную высоту перо приобретает в расстоянии около 800 мм. от острия, где оно имеет ширину около 50 мм. Такая конструкция стрелки облегчает движение вагонов на ответвление и сберегает перо, так как колесо на протяжении неполной высоты пера не будет касаться его бандажем, а будет катиться ребордой по дну повышенного желоба; колесо перейдет на перо бандажем лишь в том месте, где оно имеет достаточную ширину, а, следовательно, и достаточное сопротивление действующим усилиям. Конечно, накат желоба будет срабатываться, и в результате желоб углубится, но во всяком случае срок службы стрелки будет значительно увеличен.

Все остальные детали ясны из прилагаемых поперечных разрезов; на чертеж 176 показано положение пера при проходе вагона на прямой путь. Накат желоба, кроме сохранения остряка от износа, облегчает плавность прохода, так как сходя с головки рельса колесо вступает ребордой на плоский желоб, вследствие чего нет перерыва в плоскости катания колеса. Глубина желоба, равная высоте реборды, в данном случае 16 мм., обеспечивает плавный проход колеса, так как колесо без всяких толчков сходит с головки рельса на плоский желоб, причем плоскости катания хотя и находятся в разных горизонтах, но разность высот равна высоте реборды колеса.

Описанная стрелка имеет кривые остряки по дуге круга, радиус внутреннего остряка $R = 45$ метров. Как было уже отмечено выше, предпочтительнее брать стрелки с кривизной пера $R = 30$ метров, что при меньшей длине пера дает его большую прочность. Подобные стрелки упо-

требляются для переходов и уложены на путях Ленинградского трамвая. Отлита стрелка из марганцевой стали „Эра“ (патент завода Гедфильд). Марганцевая сталь является в настоящее время лучшим материалом для подобных отливок. Обладая сопротивлением на разрыв 100 $\frac{\text{кгр.}}{\text{мм.}^2}$, при 50% удлинении, она сравнительно мало изнашивается при проходе подвижного состава и не лопается. Опытные данные эксплоатации Ленинградского трамвая дали вполне хорошие результаты и указывают на выгодность применения отливок из марганцевой стали, несмотря на их сравнительную дороговизну.



Черт. 181.

Общий вид стрелки „Гедфильд“.

Затруднение в изготовлении литых стрелок из марганцевой стали состоит в трудности ее обработки, так как она поддается лишь обточке наждачными и карборундовыми кругами, и в значительном количестве брака при отливке, вследствие появления внутренних раковин. Этим обстоятельством объясняется, что монополистами подобных изделий до сих пор являются несколько заграничных заводов, где производство марганцевой стали поставлено на надлежащую высоту. Общий вид стрелки иллюстрируется фотографией 181.

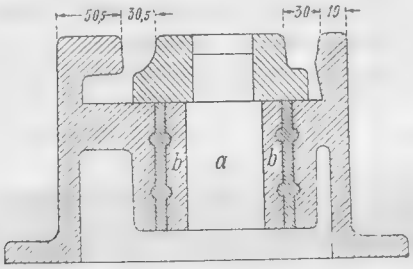
Типы укрепления пяты пера.

Укрепление пера в корне является наиболее важным для прочности стрелки и плавности прохода подвижного состава. Приведем несколько примеров существующих конструкций.

В теле стрелки (см. черт. 182) при отливке оставляют цилиндрическое отверстие диаметром около 120 мм.; в это отверстие посредством цинка заливается чугунная втулка „*b*“ с правильной цилиндрической обточ-

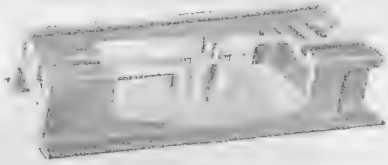
кой. Пятовой болт пера „*a*“ входит во втулку „*b*“ и служит осью вращения пера. (См. фот. 183).

В теле языка пятовой болт укрепляется, как показано на чертеже 184, а именно: часть болта, входящая в язык, длиннее высоты пера „δ“, поэтому после того, как болт вставлен в отверстие пера, он расклепывается и заполняет коническую часть отверстия, благодаря чему прочно держится в пере.



Черт. 182.

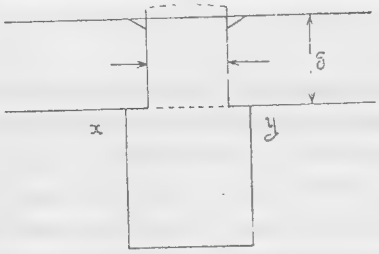
Укрепление пяты пера стрелки „Гедфильд“.



Черт. 183.

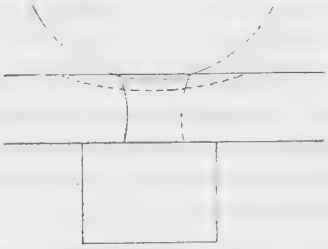
Общий вид укрепления пяты.

Недостаток этой конструкции состоит в том, что пятовому болту нельзя придать достаточную толщину, вследствие чего он часто ломается по сечению *x—y*; кроме того, вследствие истирания поверхности болта и втулки, получается расшатанность его во втулке, а сама втулка расшатывается в теле стрелки.



Черт. 184.

Укрепление пятового болта.



Черт. 185.

Износ пятового болта стрелок.

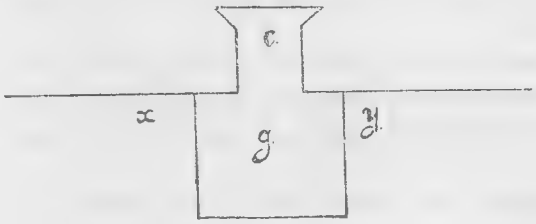
Наконец, вследствие того, что болт делается из обыкновенной стали, его верхняя поверхность сминается от ударов колеса, образуется выбоина (черт. 185), которая увеличивается и распространяется на тело пера.

В виду этого, для трамваев с интенсивным движением и тяжелым подвижным составом означенная конструкция не рекомендуется.

Во избежание сминания верхней поверхности болта, видоизменяют укрепление болта в теле пера, причем в пяте пера делается отверстие не сквозное, а лишь на половину высоты (черт. 186).

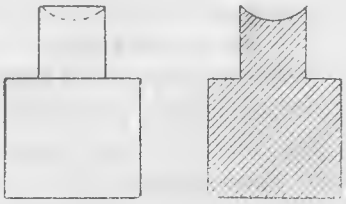
Конструкция эта дает менее прочное укрепление болта и затрудняет его вынимание в случае поломки в сечении $x—y$, так как требует высверливания части „c“.

Верхняя часть головки шкворня (см. 187) отделывается в виде чашки.



Черт. 186.

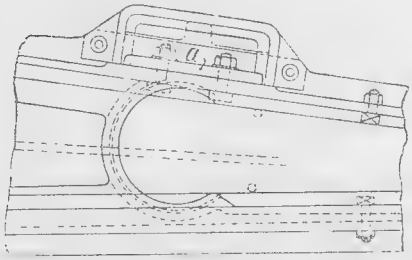
Укрепление болта в теле пера.



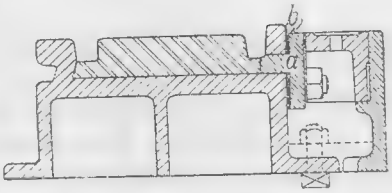
Черт. 187.

Головка шкворня.

На черт. 188—189 представлено укрепление пяты пера в стрелке „Гекла“ завода Гедфильда. В данном случае нет болта, а пята пера отделана на конус и входит в соответствующее укрепление в рамных рельсах.



Черт. 188 (план).



Черт. 169 (разрез).

Укрепление пяты пера в стрелке „Гекла“.

Часть рамного рельса (a) съемная, на болтах, причем между нею и рамным рельсом вставляется ряд медных пластинок (b) толщиной $^1/_2$ мм.

Вынимая одну или две пластинки, натяжением болтов можно вдвинуть съемную вставку „a“ и укрепить этим расшатанную пяту языка, в случае ее износа. Вынутие языка производится при помощи удаления съемной части „a“.

Эта конструкция значительно лучше предыдущей, так как увеличена подошва пяты, дана возможность парализовать износ трущихся частей, нет болта и втулки, а, следовательно, устранены неудобства сопряженные с ними, ввиду этого укрепление пяты более прочно.

Опытные данные подтверждают преимущества этой конструкции, и из существующих она является наилучшей.

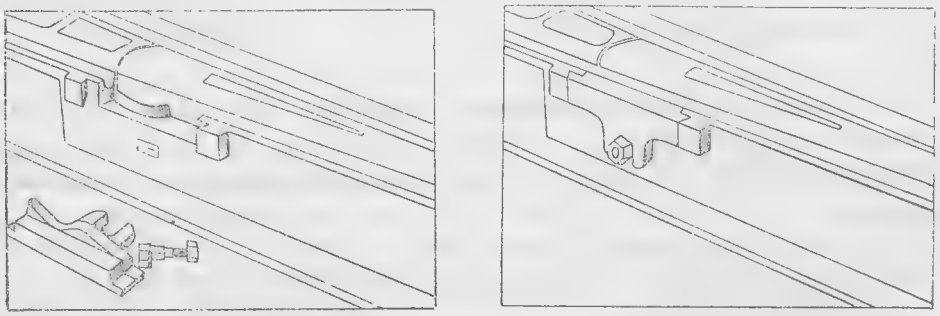
Черт. 190 изображает в перспективе конструкцию укрепления пера, предшествовавшую вышеописанной. Различие состоит в том, что не имеется регулирующих пластинок (*b*), и вкладыши вставляются не сбоку, а сверху.

Одной из лучших конструкций укрепления пяты является тип Американской фирмы Lorain Steel C-o.

На чертеже № 191 представлен план и разрезы этой стрелки.

Здесь пята еще более уширена, диаметр цилиндрической поверхности трения доведен до 292 мм.; для размещения пяты имеется соответствующий прилив в теле стрелки.

От вертикальных перемещений пята удерживается вилкообразным рычагом „*a*“ (см. разрез по IX—IX).



Черт. 190.

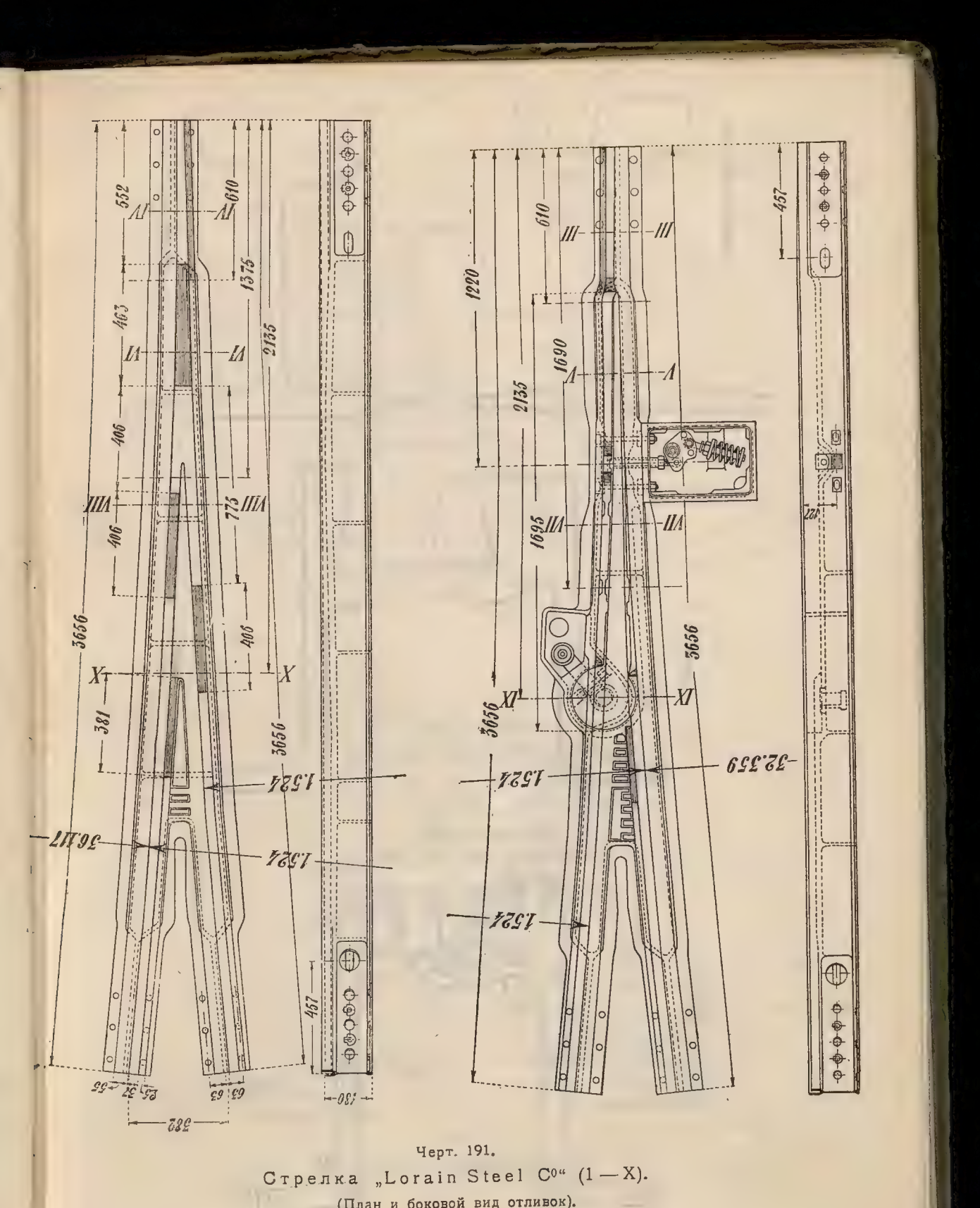
Укрепление пяты пера в стрелке „Гекла“.

Рычаг „*a*“ одним концом обхватывает болтообразный прилив к пяте „*b*“, другим соединен с пружиной „*c*“. Середина рычага упирается в точке „*d*“ в соответствующий выступ в теле стрелки. Натяжением пружины рычаг надавливает на прилив пяты и препятствует вертикальному ее перемещению. Чтобы вынуть перо, необходимо удалить рычаг „*a*“, для чего имеется коробка „*A*“ с крышкой.

По данным Ленинградского трамвая эта конструкция не только не уступает конструкции „Гекла“, но и превосходит ее благодаря более прочному укреплению пяты в отношении вертикальных перемещений.

Действительно, в конструкции „Гекла“ пята удерживается от перемещений лишь благодаря конической своей форме; малейший износ конической поверхности повлечет за собой перемещение пяты не только в горизонтальной плоскости, но и в вертикальной.

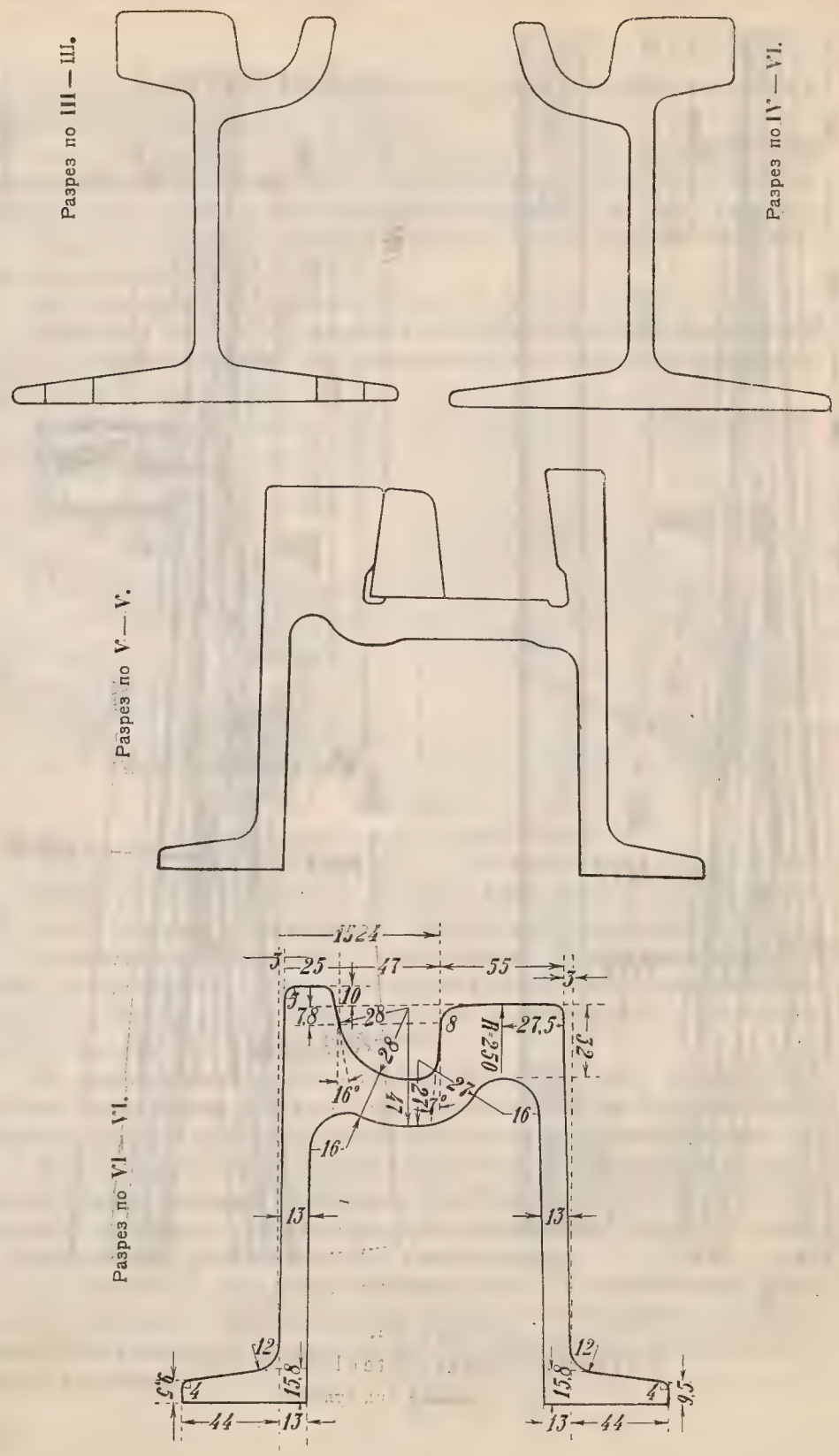
В конструкции „Лоренс“ влияние износа на вертикальные перемещения устранено. Единственный недостаток—это отсутствие приспособлений для устранения горизонтальных перемещений при износе поверхностей вращения.



Черт. 191.

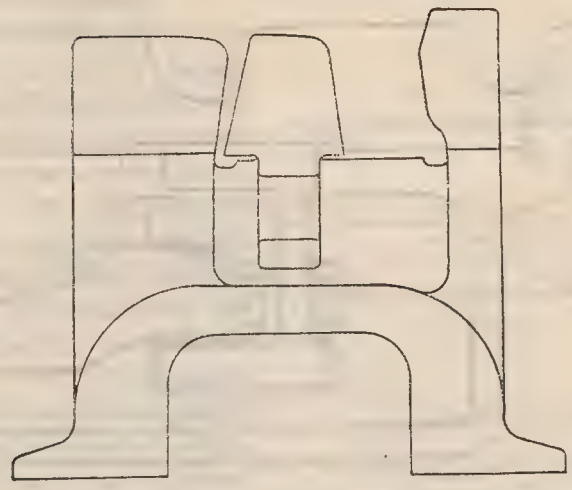
Стрелка „Lorain Steel C⁰“ (1 — X).

(План и боковой вид отливок).

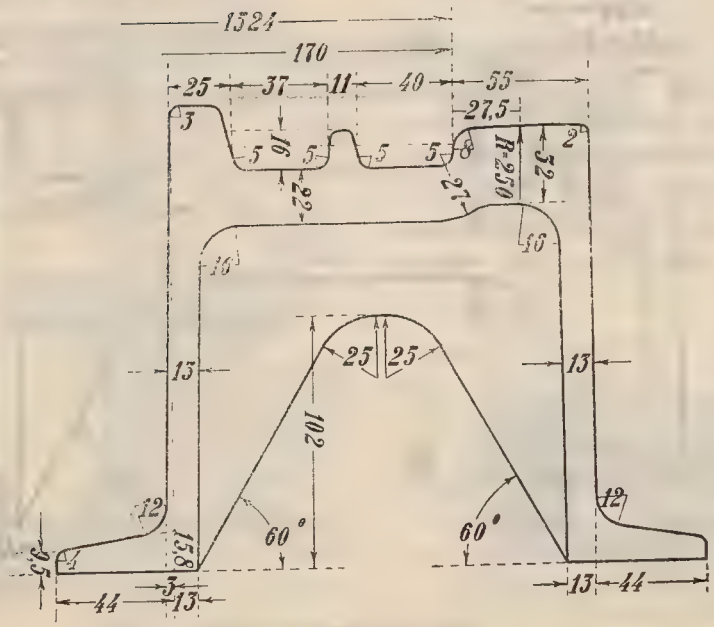


Черт. 191 (продолжение). Разрез стрелки Lorain Steel C⁰.

Разрез по VII — VII.

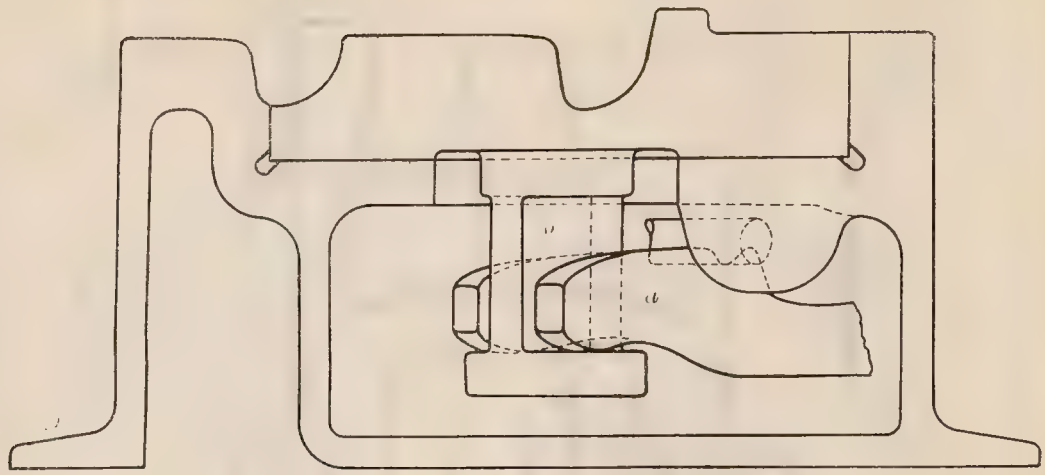


Разрез по VIII — VIII.

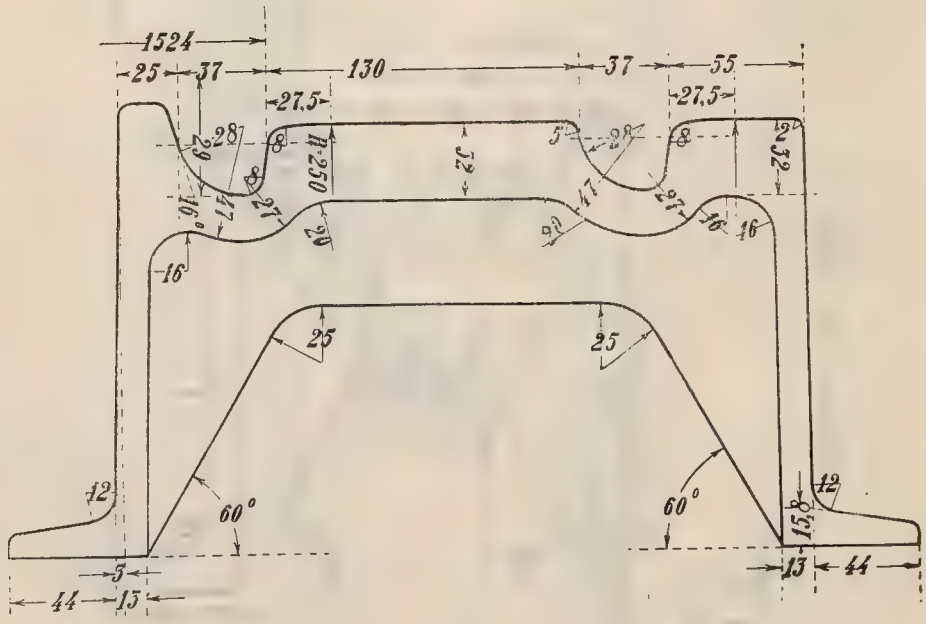


Черт. 191 (продолжение).

Разрез по IX — IX.



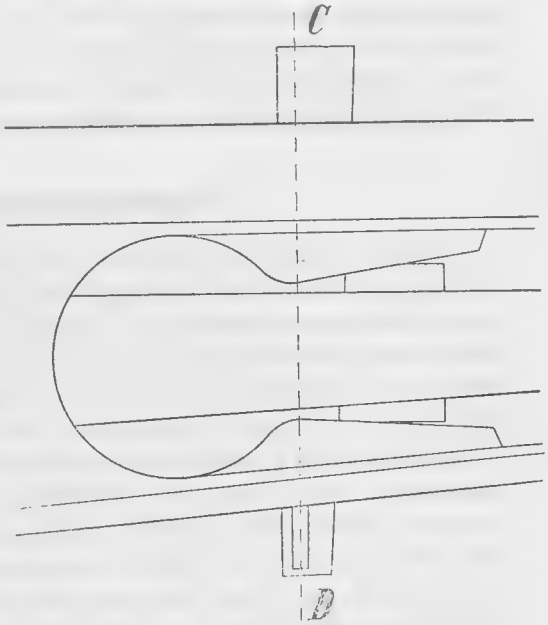
Разрез по X — X.



Черт. 191 (продолжение).

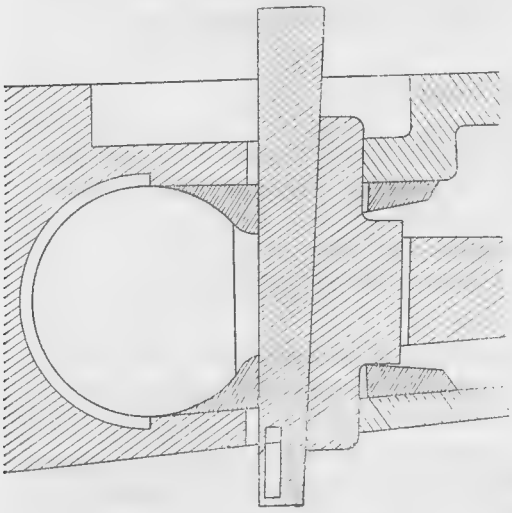
Кроме вышеописанных типов имеется большое количество других, представляющих варианты в смысле деталей. Описанные же являются наиболее характерными.

Остается упомянуть о способе укрепления пяты в парковых стрелках. Благодаря малым радиусам кривизны, $R = 14$ метров, эти стрелки имеют короткие языки, и перо без увеличения его веса делается высотой 100 мм., благодаря чему является возможным укрепить пяту без болта, посредством клиньев (см. черт. 192 — 194). Подтягивая клин посредством клинообразной чеки, можно устранить расшатанность пяты в случае ее износа. Конструкция эта очень проста и удобна, но влечет за собой большую высоту пера.

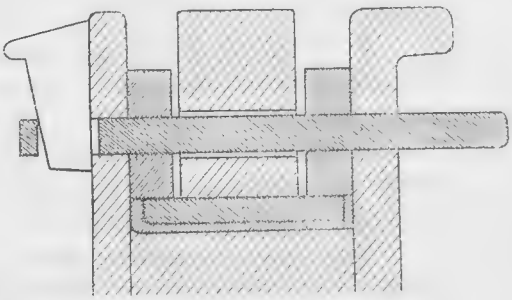


Черт. 192.
Укрепление пяты парковой стрелки (вид сверху).

При выборе того или другого типа укрепления пяты необходимо иметь в виду простоту конструкции, возможность легкой смены пера и уменьшения влияния износа, наконец, прочность укрепления, гарантирующую от вертикальных и горизонтальных перемещений. В общем, в последних типах резко подчеркивается стремление уничтожить осевой штырь и заменить его уширением самой пяты пера. Уширенная пята фигурирует во всех



Черт. 193.
Укрепление пяты парковой стрелки (горизонт. разрез).



Черт. 194.
Укрепление пяты парковой стрелки (вертик. разрез по С — Д).

последних типах, и различие состоит лишь в способе укреплений и средствах уничтожения влияния износа. Указанный выше способ (черт. 188—189) является наиболее типичным; другие конструкции этого рода представляют собой лишь варианты. Так, в стрелке завода „Эдгар-Аллен“ укрепление осуществлено нажатием болтов, в стрелке Американской компании Lorain Steel C-o пята укреплена от вертикальных перемещений болтом с соответствующим вырезом, в который входит рычаг.

Устройство подошвы языка.

Выше уже было сказано, что устройство отдельной опорной доски имеет свои недостатки, так как она расшатывается и требует систематического ремонта. В виду этого в последних конструкциях отдельные доски уничтожены, и отшлифована под плоскость марганцевая отливка стрелки. Работа эта производится наждачным кругом и требует большой тщательности в исполнении. Необходимо, чтобы плоскость, служащая для опоры пера, была строго проверена, так как неправильность в обработке и все неровности будут служить причиной неустойчивости языка: он будет качаться, изгибаться и давать удары при движении вагонов, крайне вредные для подвижного состава и для самой стрелки.

Стрелки этой конструкции, испытанные на практике, дали хорошие результаты, как лучшие из существующих.

В виду твердости марганцевой стали опасаться значительных износов опорной плоскости нет оснований, тем более, что рабочие поверхности, подвергающиеся непосредственному действию колес подвижного состава, изнашиваются значительно скорее, и при смене поломанных или изношенных перьев высота пера всегда оказывается выше поверхности головок рамных рельсов, так что перо приходится подтачивать наждачным кругом.

Типы замыкателей.

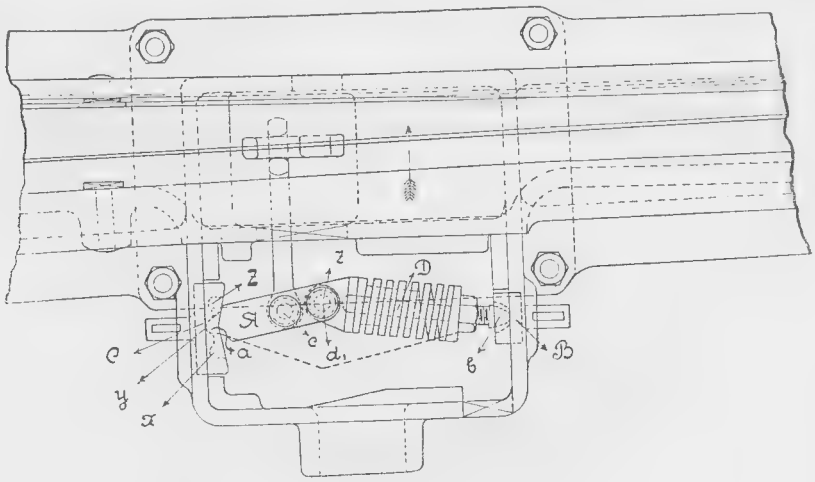
Ранее был описан пружинный замыкатель Гедфильда. В новейшей стрелке завода Гедфильда „Гекла“ замыкатель изменен и представляется в следующем виде (см. черт. 195—196).

К рычагу A, имеющему опорой точку „a“, где он упирается в соответствующее углубление, в отдельной части „C“ прикреплена в точке „c“ штанга, захватывающая перо.

С другой стороны рычага на оси вращения имеется болт, на который надета пружина D, упирающаяся в точке „b“ посредством второго болта с гайкой в углубление части „B“.

При переводе стрелки точка „z“ переходит в точку „d_1“, преодолевая сопротивление пружины. При постановке рычага „a“ в углубление „y“ замыкатель работает, закрепляя стрелку в обоих крайних положениях пера.

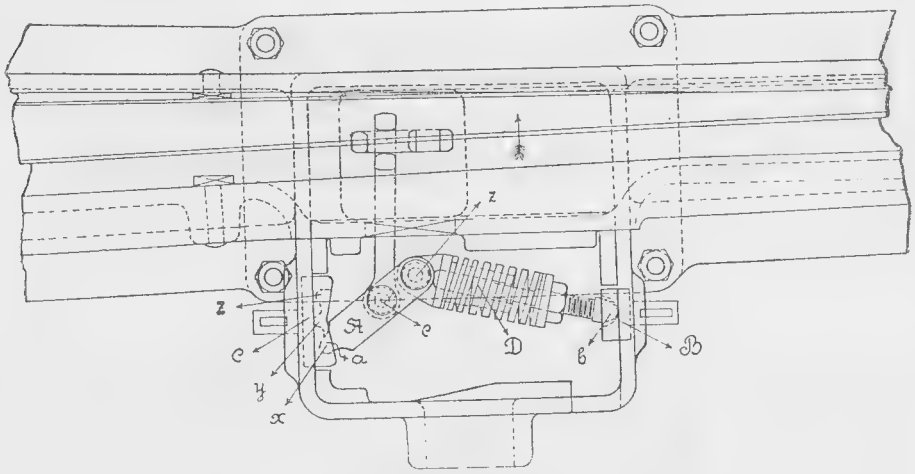
Если рычаг „a“ поставить в углубление „x“, то замыкатель будет прижимать перо по направлению стрелки. По постановке рычага „a“ в



Черт. 195.

Замыкатель стрелки „Гекла“ Гедфильд.

углубление „Z“ замыкатель будет двигать перо против стрелки. Таким образом, замыкатель является универсальным и действует, как двухходный

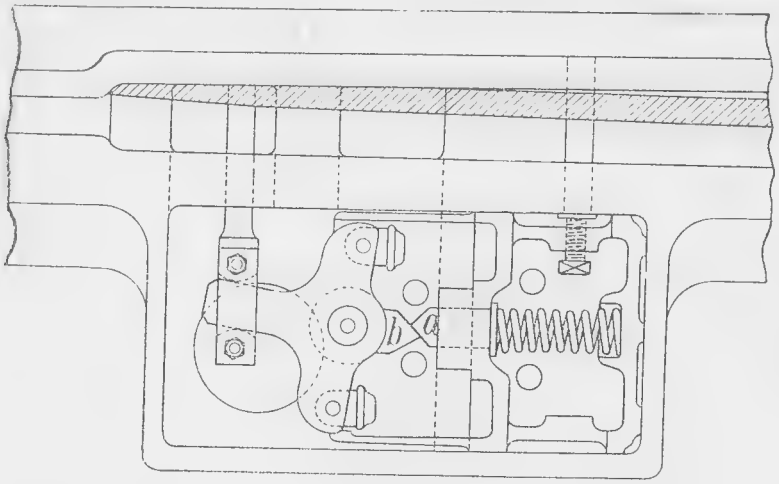


Черт. 196.

Замыкатель стрелки „Гекла“ Гедфильд.

и автоматически толкающий или притягивающий. Регулировка пружины производится медной гайкой. Упорные части C и B, для легкости их замены в случае поломки, сделаны съемными. Замыкатель состоит из не-

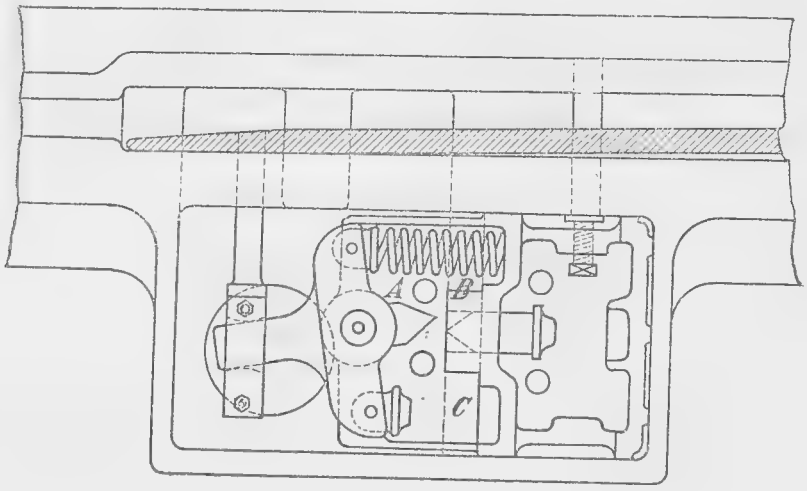
большого количества простых частей, легко вынимается и переставляется в любое из трех положений, работает весьма исправно и потому представляет один из лучших типов.



Черт. 197.

Замыкатель стрелки „Эдгар Аллен".

На чертежах 197—198 представлен замыкатель завода „Эдгар-Аллен", в Шеффильде.



Черт. 198.

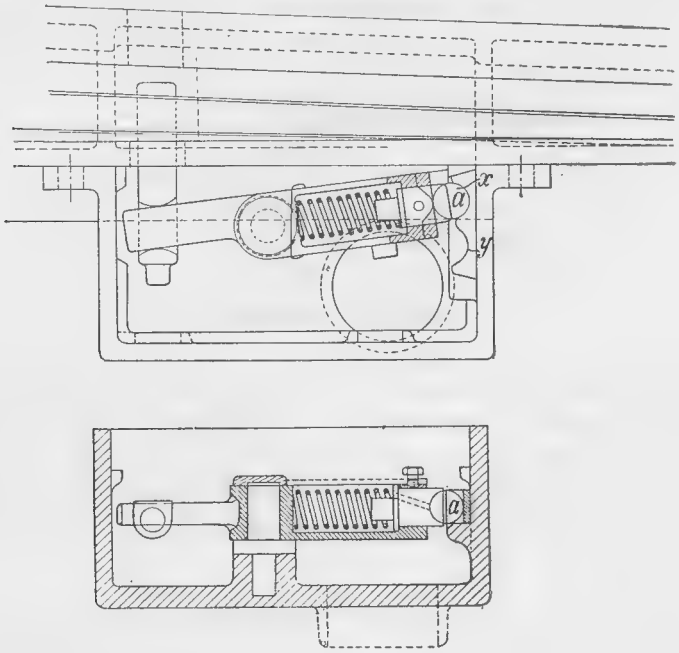
Замыкатель стрелки „Эдгар Аллен".

При указанном на черт. 197 положении пружины замыкатель работает, как двухходный, закрепляя перо в каждом из двух крайних положе-

ний. Замыкание происходит, как и в первом типе Гедфильда, посредством треугольных выступов „a“ и „b“. Замыкатель сложнее типа „Гекла“, части „a“ и „b“ стираются, так что преимущество нужно отдать типу „Гекла“.

Перестановкой пружины A, как показано на чертеже 198, замыкатель можно сделать автоматическим, притягивающим или толкающим.

Вариантом замыкателя „Гекла“ является замыкатель системы „Лоренс“ (см. черт. № 191).



Черт. 199.

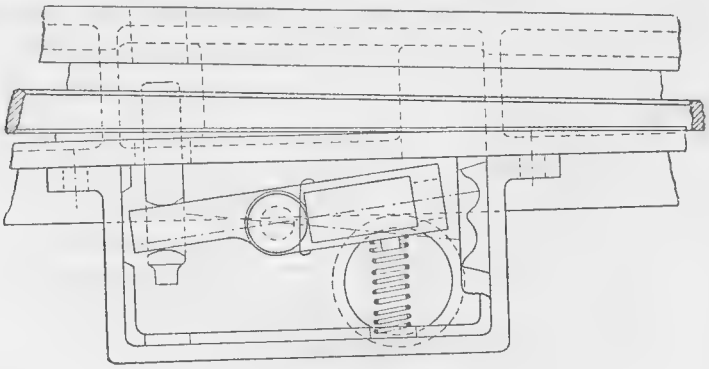
Замыкатель „Ball Beaning“.

Как видно из чертежа, отличие заключается лишь в том, что вместо перестановки опорной части пружины, для изменения работы замыкателя с двухходного на одноходный, изменяется соединение конца пружины „b“ с сектором „A“. Соединяя пружину с точкой „X“ получим одноходный притягивающий, соединяя с точкой „Y“—двухходной, соединяя с точкой „Z“—толкающий.

Повидимому, конструкции вполне аналогичны, но в пользу замыкателя „Гекла“ можно сказать, что перестановка упорного конца пружины легче, чем перестановка конца „b“, и кроме того в замыкателе „Гекла“ пружина работает всегда на сжатие, у „Лоренс“ же — на сжатие и на растяжение.

На чертежах 199—201 изображен замыкатель „Ball Beaning“.

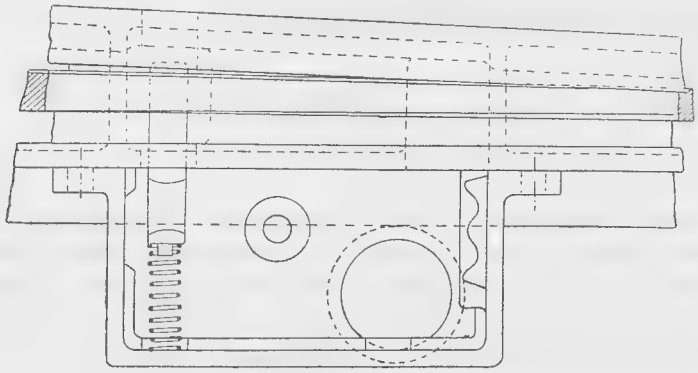
Особенность его та, что треугольные выступы, замыкающие рычаг в крайних положениях, заменены металлическим шаром „*a*“, чем уменьшается трение. При переводе языка шаровой упор „*a*“ перескакивает из углубления „*x*“ в углубление „*y*“.



Черт. 200.

Замыкатель „Ball Beaning“.

При оценке системы замыкателей нужно главным образом обратить внимание на простоту конструкции, возможно малое количество и прочность отдельных частей, так как эти условия характеризуют правильность работы и легкость ухода за замыкателем.



Черт. 201.

Замыкатель „Ball Beaning“.

Кроме того, необходимо учесть возможность с наименьшими перестановками отдельных частей переходить от одноходного к двухходному замыкателю.

С этой точки зрения из вышеописанных замыкателей нужно отдать предпочтение замыкателю Гедфильда „Гекла".

Заканчивая на этом описание одноперых литых стрелок, мы можем сказать, что одним из лучших новейших типов является стрелка Lorain Steel C-o (черт. № 191 см. выше).

В этой стрелке, помимо отличий в системе замыкателя и укрепления пяты, уже отмеченных выше, мы имеем повышение губки контр-рельса не только в отливке самой стрелки, но и в пределах подвижного пера. Кроме того, вместо упорных болтов перо снабжено приливами, что, создавая лишние точки опоры, одновременно увеличивает жесткость пера.

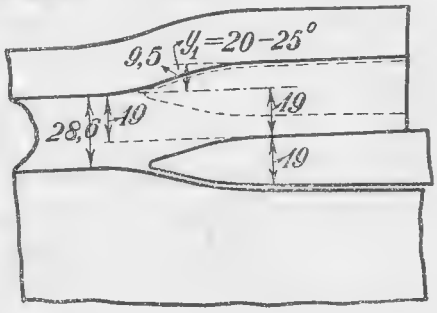
По данным Ленинграда стрелка работает хорошо.

Главные условия конструирования.

При конструировании литой стрелки необходимо иметь в виду следующее:

1) Желоба стрелки должны быть согласованы с нормальным профилем рельсов, причем ширина желоба по направлению кривой должна удовлетворять требованиям свободного прохода подвижного состава данной базы (см. расчет ширины желоба в главе о кривых).

2) Подвижное перо стрелки должно иметь достаточные размеры, обеспечивающие его прочность. Высота пера в принятых типах от 50 до 70 мм., толщина острия пера от 10 до 22 мм. При выборе максимальных и минимальных из указанных размеров необходимо иметь в виду скорость движения и вес вагонов: чем больше скорость движения и вес вагона, тем больше сила удара, а следовательно, нужно придавать перу большие размеры.

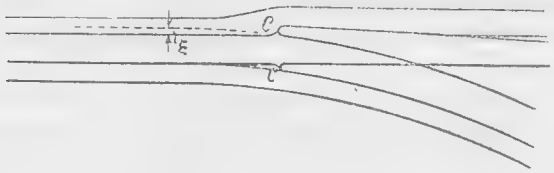


Черт. 202.
Очертание острия пера.

3) Очертание острия пера должно обеспечивать плавный проход подвижного состава, без ударов об острие пера. В этом направлении рекомендуется очертание острия пера согласно чертежу 202, где острие пера на половину своей толщины входит в соответствующие вырезы в рамном рельсе и контр-рельсе. Несомненно, что перо меньшей толщины дает более плавный проход подвижного состава, но необходимо иметь в виду, что в одноперой стрелке весь удар подвижного состава выдерживается одним пером, а потому лучше придать ему более солидные размеры.

Кроме того, глубокий вырез на полную толщину пера значительно ослабляет губку и головку и срабатывается при пошерстном движении.

Можно встретить и иной метод проектировки острия пера—с пересечением рамного рельса, т. е. когда кривая, очерчивающая перо, касательна не к рабочему канту внутреннего рельса, а к прямой ему параллельной и отстоящей на расстоянии ξ, как то указано на чертеже 203.

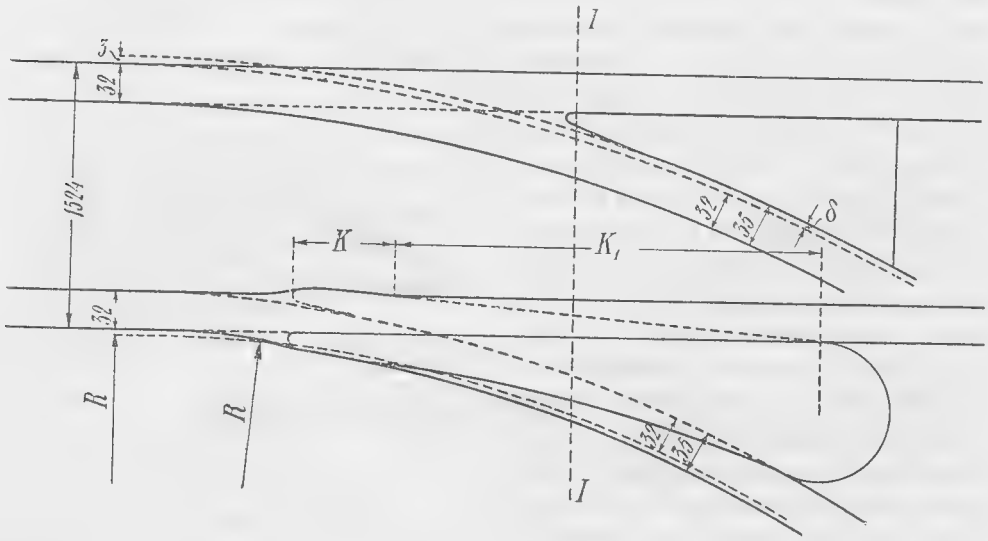


Черт. 203.

Проектировка острия пера с пересечением.

В этом случае обычно острие пера полностью входит в соответствующие углубления, но недостаток состоит в том, что при пошерстном движении сбиваются грани углублений.

4) Конструкция стрелки должна обеспечивать острие глухого пера от ударов подвижного состава. Достигается это соответственной оструженкой глухого пера.



Черт. 204.

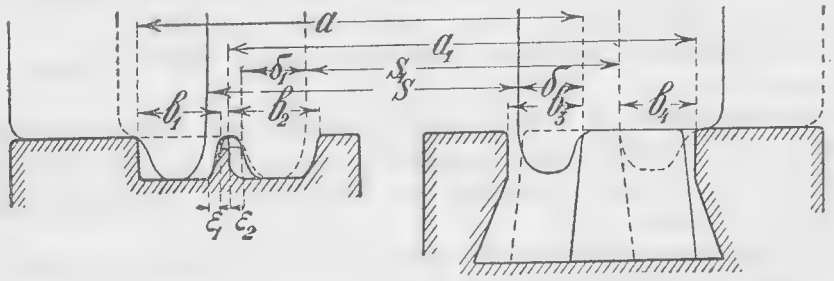
Схема одноперой стрелки.

Из чертежа 204, представляющего в искаженном масштабе схему одноперой стрелки, и поперечного разреза стрелки в сечении I — I, изображенного на черт. 205, видно, что для удовлетворения вышеуказанного требования необходимо известное соотношение ширины колеи и желобов.

Из чертежа 205 имеем, что при проходе подвижного состава по прямому направлению должно иметь место следующее равенство:

$$a - b_1 = S + \delta - \varepsilon_1,$$

где a — ширина колеи, b_1 — ширина желоба, S — ширина насадки колес, δ — толщина реборды на высоте линии измерения ширины колеи, ε_1 — зазор между ребордой и острием глухого пера.



Черт. 205.
Сечение стрелки по I—I черт. 204.

При проходе по направлению кривой:

$$a_1 - b_4 = S_1 + \delta_1 + \varepsilon_2,$$

где a_1 — ширина колеи, b_4 — ширина желоба по направлению кривой, S_1 и δ_1 — проекции насадки и реборды на направление радиуса, проходящего через центр оси вагона, ε_2 — зазор между ребордой и острием глухого остряка.

При нормальной колее (1524 м.) имеем:

$a = 1524$ мм. ± 2	$b_1 = 32$ мм.
$S = 1475$ мм. ± 2	
$\delta = 22$ мм.	

При кривизне пера стрелки по дуге круга $R = 30$ метров:

$$S_1 = 1472 \text{ мм.}$$
$$\delta_1 = 25 \text{ мм.}$$
$$b_4 = 35 \text{ мм.},$$

тогда получим:

$$\varepsilon_1 = S + \delta + b_1 - a = 1475 + 22 + 32 - 1524 = 1529 - 1524 = 5 \text{ мм.}$$

Задаваясь величиной зазора $\varepsilon_2 = 7$ мм., определим ширину колеи по направлению кривой:

$$a_1 = S_1 + \delta_1 + \varepsilon_2 + b_4 = 1472 + 25 + 7 + 35 = 1539 \text{ мм.},$$

т. е. величина уширения колеи на кривой:

$$n = 1539 - 1524 = 15 \text{ мм.}$$

На практике это уширение достигается, как показано на черт. 205, а именно—рабочий кант глухого пера отодвигается в наружную сторону остружкой его на 3 мм., чем достигается ширина желоба 35 мм. и уширение колеи

на 3 мм., рабочий кант рамного рельса подвижной стрелки тоже отодвигается во внутреннюю сторону кривой на 3 мм., что дает еще 3 мм. уширения.

Затем, конец острия глухого пера срезается на нет посредством вставки прямой, что дает уширение около 8 мм., так как толщина пера в этом месте около 10 мм.

Таким образом получается уширение колеи около 14 мм., т.-е. $\varepsilon_2 = 6$ мм.

При вышеуказанных зазорах проход подвижного состава обеспечен от ударов о глухое перо при нормальной ширине колеи, насадке колес и неизношенных ребордах. Посмотрим, что произойдет в случае указанных отступлений от норм.

„Для прямой" невыгодный случай будет соответствовать широкой колее и узкой насадке, тогда получим:

$$\varepsilon_1 = 1473 + 22 + 32 - 1526 = 1 \text{ мм.}$$

„Для кривой" минимальный зазор получится при узкой колее и широкой насадке:

$$\varepsilon_2 = 1537 - 1474 - 25 - 35 = 3 \text{ мм.}$$

Отсюда ясно, насколько важна точная укладка и соблюдение определенных размеров стрелки для возможности плавного прохода подвижного состава. В случае одностороннего износа реборд можно получить настолько сильные удары, что возможен сход с рельс подвижного состава.

5) Необходимо насколько возможно увеличить длину полного прилегания пера стрелки к рамному рельсу и контр-рельсу, по чертежу 204 — величину K. Обстоятельство это весьма важно, так как увеличение K уменьшает величину K_1 при данной длине пера, а, следовательно, уменьшает возможность прогиба языка, который повлечет удар реборды бандажа о глухое перо стрелки. Во избежание прогиба, кроме увеличения K, ставят еще упорные болты, как это было указано выше, или снабжают перо приливами. Величину K желательно иметь не менее 500 мм.

6) Перо стрелки нужно обеспечить от возможности перемещения в вертикальном направлении.

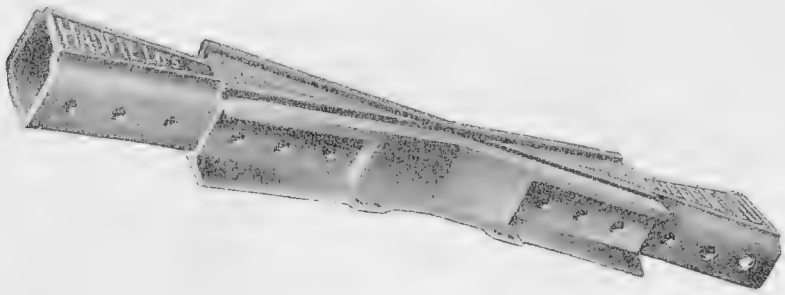
7) В глухой стрелке должен быть сделан накат желоба для избежания вертикальных ударов при проходе подвижного состава.

8) Общая длина стрелки должна отвечать возможности соединения ее с путевыми рельсами нормальными накладками, как у острия пера, так и со стороны пяты стрелки. Для этого со стороны острия пера должно быть не менее 575 мм. от практического острия пера до стыка; увеличение этого размера по условиям конструкции является ненужным и поведет лишь к увеличению веса стрелки. Поэтому в описанной выше стрелке (черт. 176)

начало кривой пера находится вне стрелки и отстоит в расстоянии 305 мм. от стыка стрелки.

В стрелке кривизной пера $R = 30$ м. начало кривой будет совпадать со стыком стрелки.

Со стороны пяты стрелки расстояние от центра вращения пяты до стыка зависит от радиуса кривизны пера, так как для осуществления нормального стыка необходимо иметь определенное расстояние между центрами прямого и кривого рельса, именно 190—200 мм. Таким образом, полная длина стрелки при кривизне пера $R = 45$ м. равна 3810 мм., при $R = 30$ м. — 3756 м.



Черт. 206.

Крестовина с концами в виде ласточкина пера.

В случае необходимости уменьшить длину стрелки по условиям эпюры узла, это достигается проектировкой концов стрелки в виде ласточкиных перьев, подобно тому как показано на фотографии крестовины № 206, что представляет, однако, некоторое неудобство, так как стык соединен лишь двумя накладками и потому менее жесток.

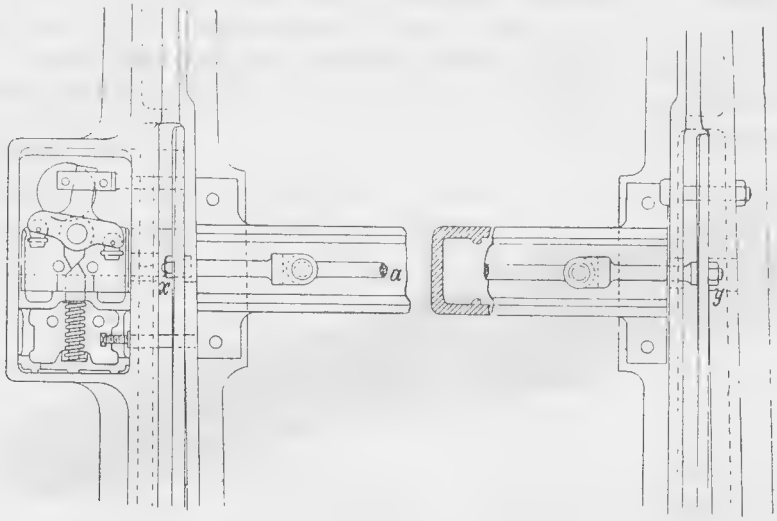
Двуперые литые стрелки.

Двуперые стрелки по своей конструкции вполне сходны с описанной стрелкой Гедфильда с одним подвижным языком. Разница заключается лишь в том, что вместо глухой стрелки укладывают стрелку с подвижным пером и перья соединяют штангой. Благодаря этому, переводя одно перо, мы тем самым переводим и другое.

На чертеже 207 изображена двуперая стрелка завода Эдгар-Аллен. Перья соединены штангой „a“, длина которой регулируется гайками „x“ и „y“; замыкатель размещен у одного пера таким образом, что второе перо замыкается лишь напором штанги. Эта схема имеет свои неудобства и предпочтительнее ставить у каждого пера свой самостоятельный замы-

катель. В таком случае будет полнее гарантировано плотное примыкание к рамному рельсу каждого пера.

На чертеже 208 представлен замыкатель Круппа, расположенный по середине штанги и замыкающий стрелку в двух крайних положениях пера. Замыкатель состоит из коромысла B, вращающегося на оси C.



Черт. 207.
Двуперая стрелка „Эдгар Аллен".

Одним концом „d" коромысло входит в соответствующий вырез в штанге, другим—соединяется с кулачком, насаженным на ось „a". На той же оси имеется кривошип A, к которому прикреплена пружина D, другой конец которой имеет вращение в точке 0.

При переводе стрелки, штанга передвигает конец d коромысла, вследствие чего кулачек b передвигается по направлению стрелки, вращая в том же направлении вал a с насаженным на нем кривошипом.

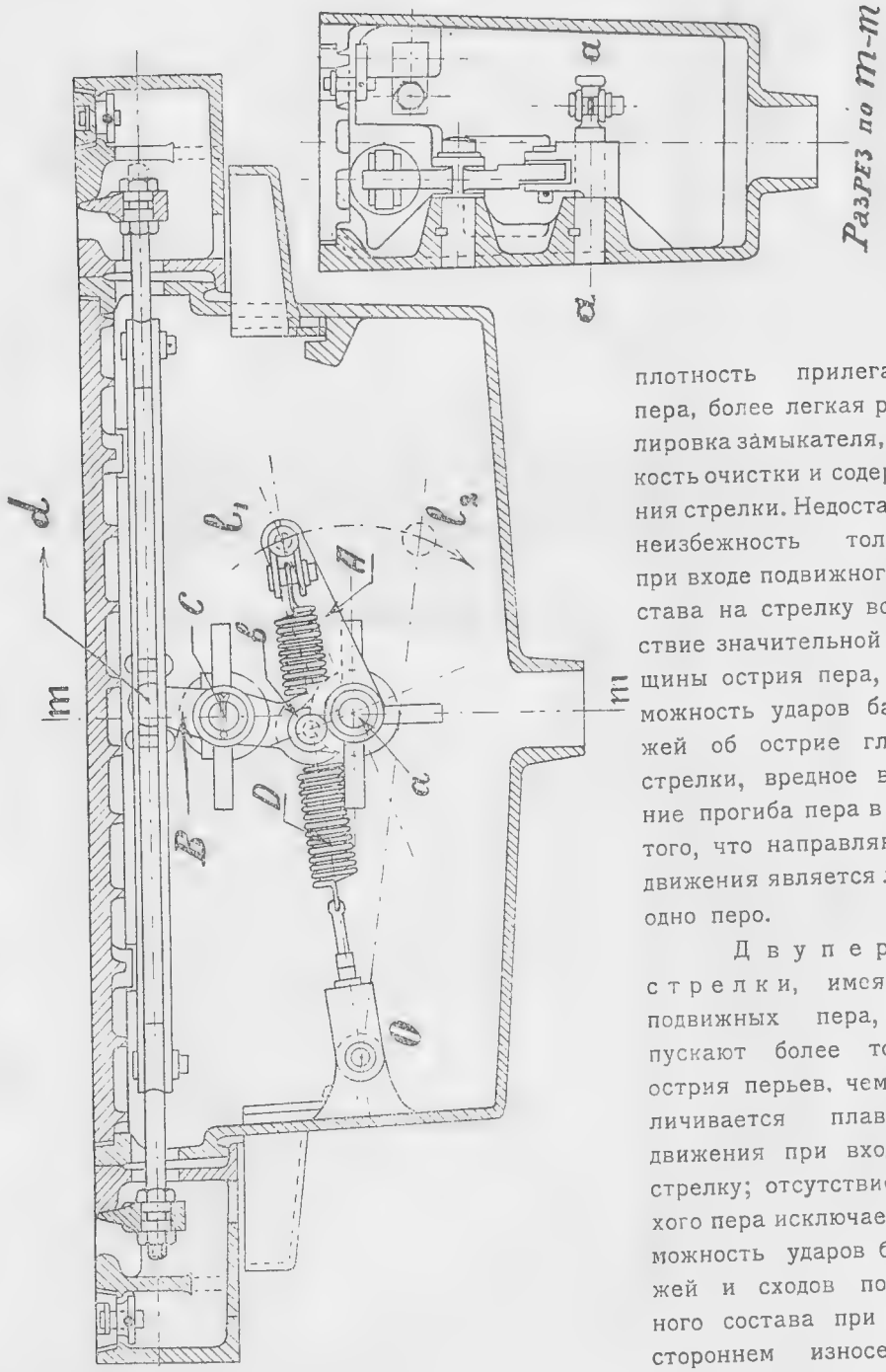
Конец кривошипа, преодолевая сопротивление пружины, переходит из положения l_1 в положение l_2, в каковом и удерживается натяжением пружины.

Замыкатель по простоте и рациональному размещению частей представляет один из лучших типов из числа действующих на штангу. В остальных частях двуперые стрелки во всем подобны вышеописанным одноперым стрелкам.

На чертеже 209 и 210 представлена двуперая стрелка Lorain Steel C⁰ двусторонней кривизны, применяемая в кольцах.

Сравнение двуперых и одноперых стрелок.

Одноперые стрелки. Достоинства их: простота конструкции, малая стоимость, легкость перевода пера, причем легче гарантировать

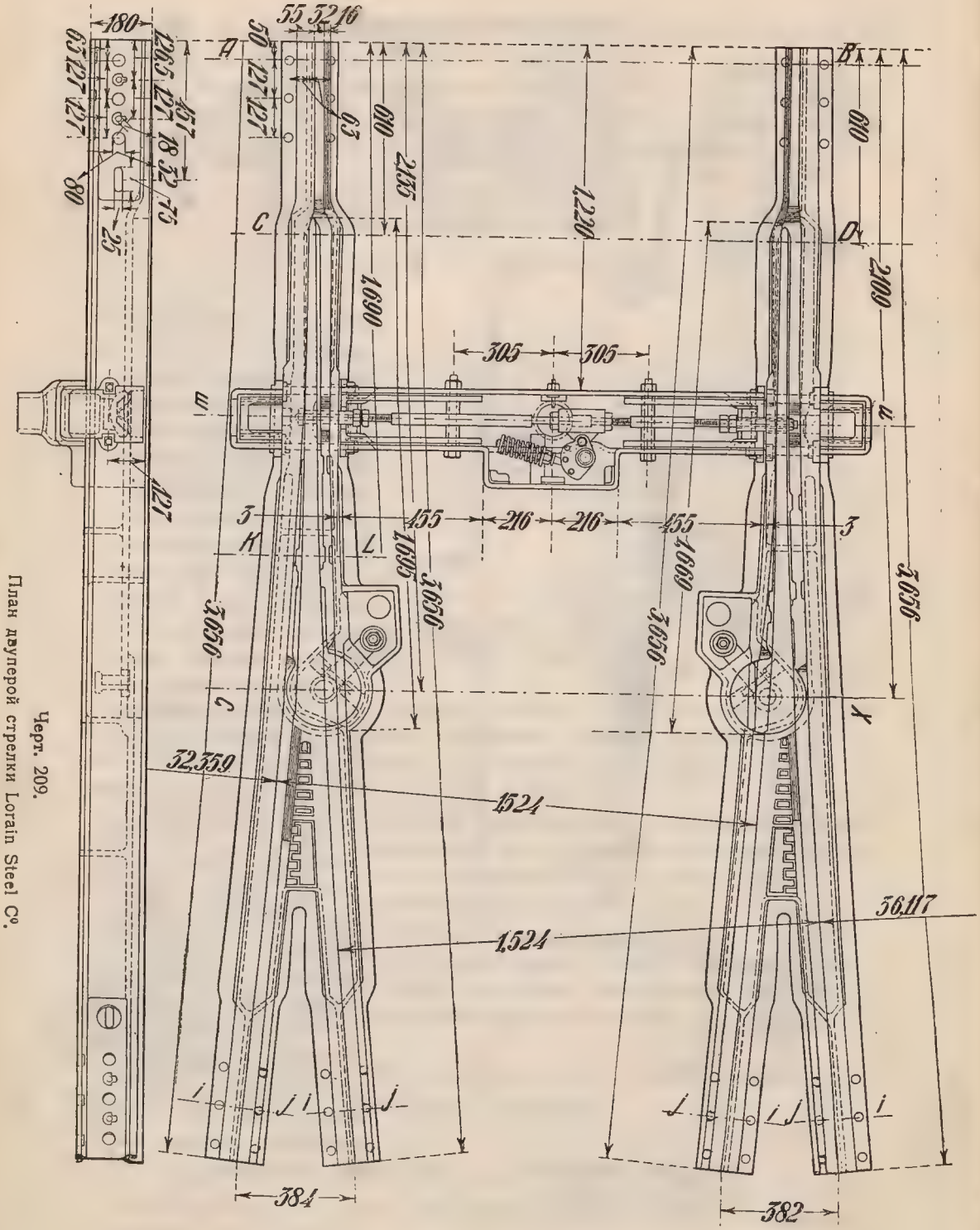


Черт. 208.

Замыкатель Круппа.

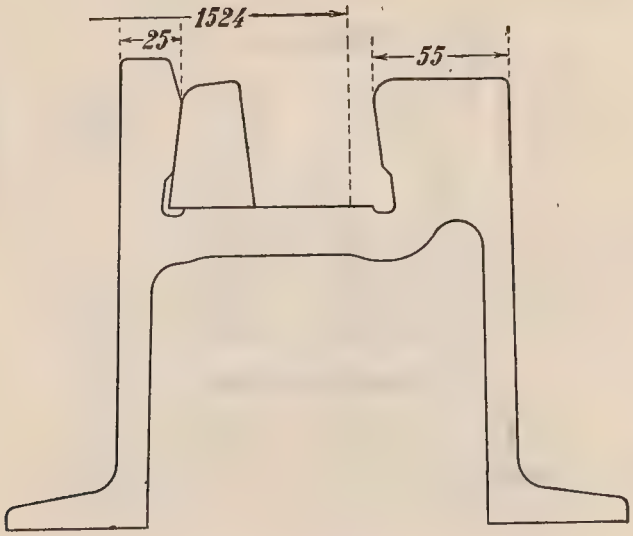
плотность прилегания пера, более легкая регулировка замыкателя, легкость очистки и содержания стрелки. Недостатки: неизбежность толчков при входе подвижного состава на стрелку вследствие значительной толщины острия пера, возможность ударов бандажей об острие глухой стрелки, вредное влияние прогиба пера в виду того, что направляющей движения является лишь одно перо.

Двуперые стрелки, имея два подвижных пера, допускают более тонкие острия перьев, чем увеличивается плавность движения при входе на стрелку; отсутствие глухого пера исключает возможность ударов бандажей и сходов подвижного состава при одностороннем износе реборд.

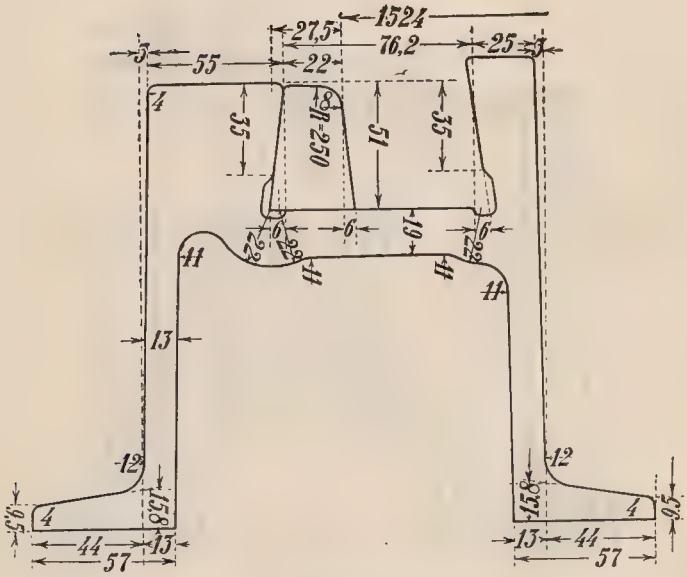


Черт. 209.

План двуперой стрелки Lorain Steel Cº.



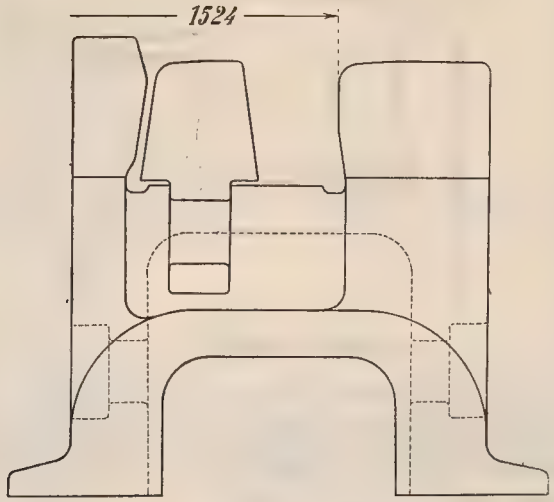
по C — D.



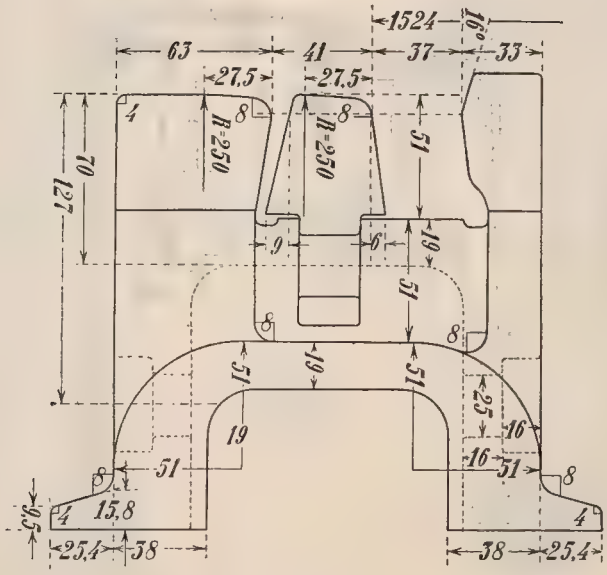
по C — D.

Черт. 210.

Поперечные разрезы двупер. стрелки Lorain Steel Co.

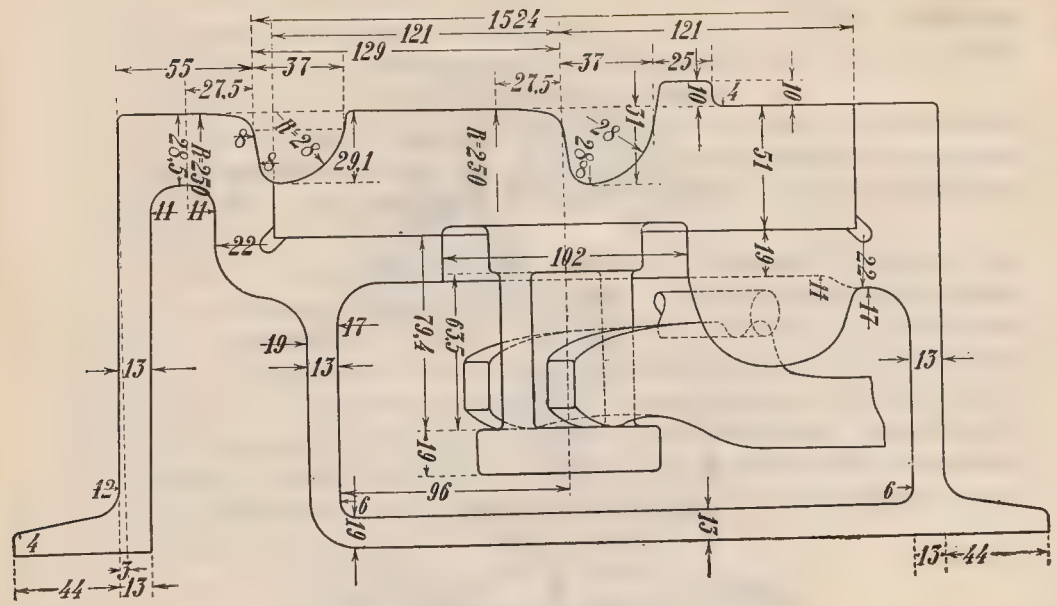


по Ш — И

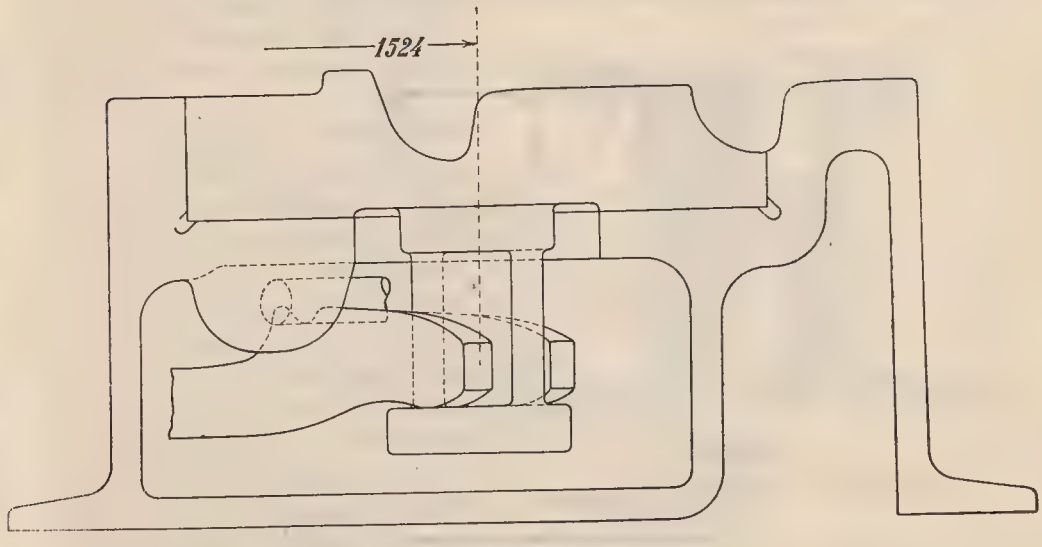


по Ш — И

Черт. 210 (продолжение).

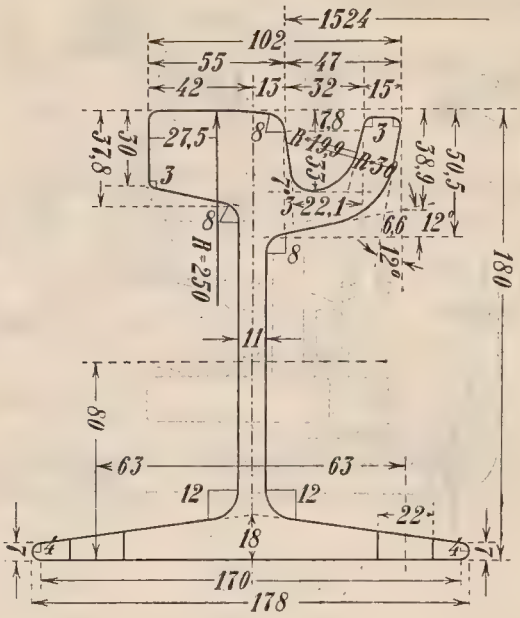


по G — X.

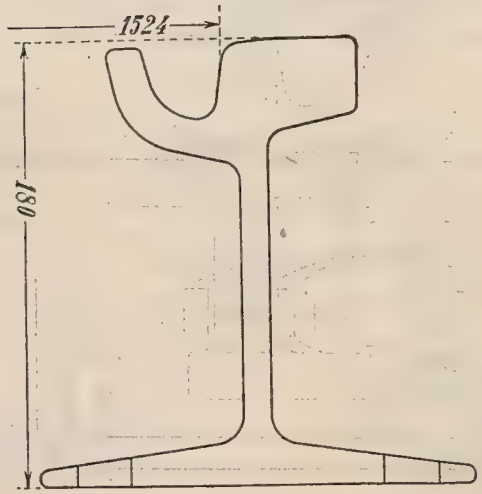


по G — X.

Черт. 210 (продолжение).



по А — В.



по А — В.

Черт. 210 (продолжение).

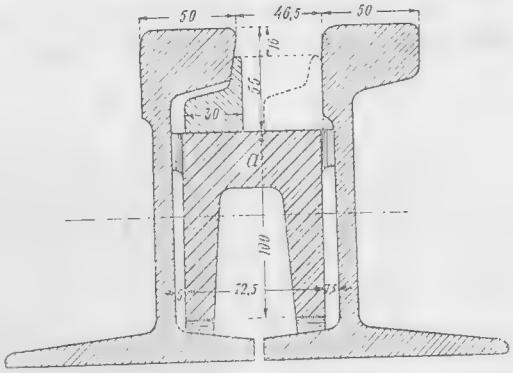
С другой стороны, два подвижных пера затрудняют перевод стрелки, требуют точной регулировки связывающей их штанги, так как неплотное прижатие одного пера может повести к сходу, затрудняют очистку стрелки и ее содержание и увеличивают стоимость стрелки.

Практика показала, что при интенсивном движении рациональнее укладывать двуперые стрелки для противошерстного движения. При среднем движении и для попутного движения выгоднее укладывать стрелки одноперые.

Кроме того, двуперые стрелки имеют несомненные преимущества в тех случаях, когда противошерстная стрелка работает преимущественно по одному направлению, что часто встречается в кольцах. В этом случае получается односторонний износ глухой стрелки по направлению преобладающего движения, препятствующий движению вагона по другому направлению. Только постоянной периодической обточкой можно парализовать это явление, и укладка двуперой стрелки в конце концов будет более экономична и рациональна. Как пример, можно указать Знаменское кольцо в Ленинграде.

Сборные стрелки.

Сборные стрелки делаются из остроганных рельсов, соединенных болтами и чугунными вкладышами, языки специального профиля из литой стали, — строганые. Представляя в плане очертание подобное вышеописанным стрелкам, они отличаются, главным образом, формой пера.



Черт. 211.

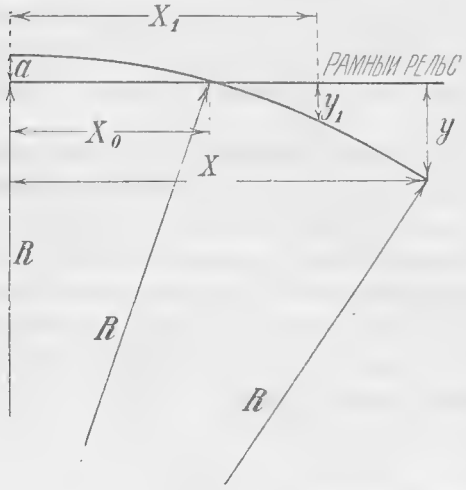
Сечение сборной стрелки у острия пера.

На чертеже 211 изображено сечение стрелки у острия пера; a — чугунная прокладка. Рамные рельсы скреплены болтами, перо острогано по типу железнодорожных перьев; придать ему более сильное сечение затруднительно, так как размеры головок рамных рельсов не позволяют сделать в них углублений для языка, как в литых стрелках. В виду этого способ проектировки пера принят с пересечением рамного рельса, как показано на черт. 212.

При этом, если величина радиуса $R = 50$ м., то величина $a =$ около 14 мм.

На чертеже 213 изображено устройство пяты сборной стрелки завода Артур Коппель. В чугунном вкладыше „A“ сделано цилин-

дрическое гнездо, в которое вставлен стальной стакан „a“; перо имеет цилиндрический прилив „b“, вставленный в стакан, и кроме того пята языка соединена с вкладышем при помощи болта; чтобы стакан не вращался в гнезде, он закреплен штифтом „f“.



Черт. 212.

Схема проектировки пера сборной стрелки.

В вертикальном направлении перо удерживается клином d.

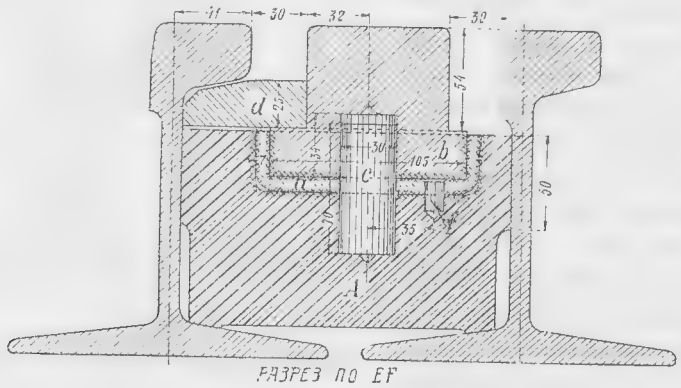
На практике конструкция эта не дает устойчивого закрепления пера, и оно значительно расшатывается.

Болт „C“, по существу говоря, является излишним, так как стирается скорее цилиндрического прилива пяты пера.

На чертеже 214 изображен замыкатель, употребляемый для этой стрелки.

Он состоит из пружины A, которая одним концом упирается в чугунную шайбу B, а другим—в стальной стакан c, вставленный во второй такой же стакан D; этот последний посредством штифта E скрепляется с пером.

Во избежание загрязнения весь замыкатель заключен в полый стальной цилиндр F и прикреплен болтом G к стрелке.



Черт. 213.

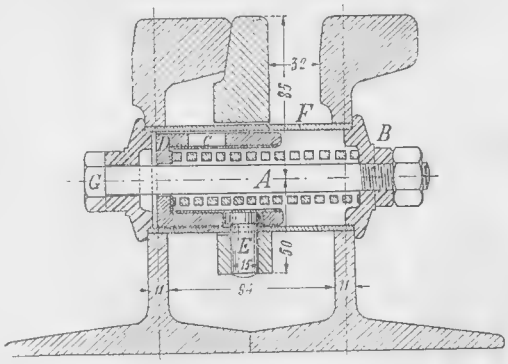
Пята сборной стрелки „Артур Коппель“.

Пружина своим натяжением прижимает перо к рамному рельсу. В случае, если нужно по ходу движения прижать перо к другому рельсу, то поворачивают пружину и стакан в другую сторону.

Двухходный замыкатель (черт. 215—217) состоит из цилиндрической пружины A с приклепанными к ее свободным концам пластинками „b“. Эти пластинки имеют полукруглые вырезы „a“ (черт. 216), куда свободно входит болт „B“, соединенный с пером.

Замыкание происходит зажиманием болта в круглых вырезах пластин пружины.

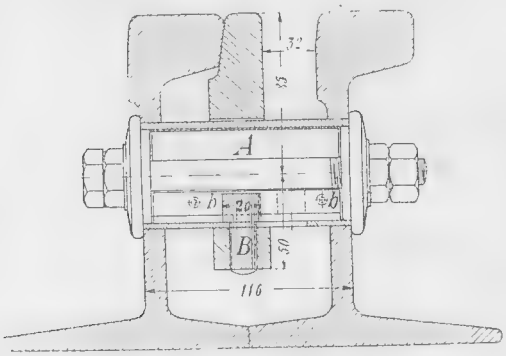
Описанный замыкатель представляет много неудобств, так как состоит из большого числа тонких, а потому весьма непрочных частей. Кроме того, не имея особой коробки, он трудно доступен, так что приходится разбирать мостовую, чтобы вынуть его. В силу чего этот замыкатель нельзя рекомендовать к употреблению, и лучше применять один из вышеописанных типов.



Черт. 214.

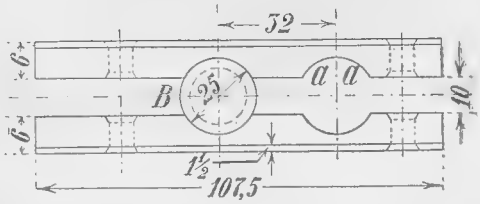
Замыкатель стрелки „Артур Коппель“.

Глухая стрелка тоже состоит из рамных рельс, соединенных болтами и вкладышами. Вкладыш (A) делается из литой стали большой твердости с рабочей поверхностью, представляющей форму глухого пера (см. черт. 218).



Черт. 215.

Двухходный замыкатель „Артур Коппель“.



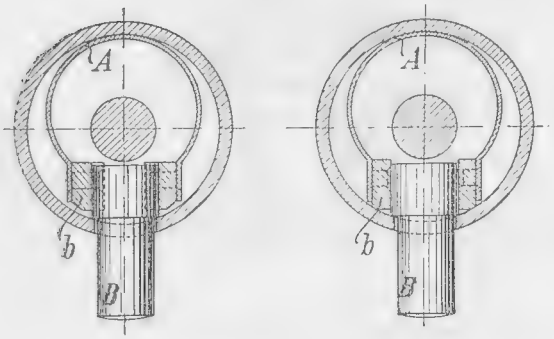
Черт. 216.

Двухходный замыкатель „Артур Коппель“.

Сборные стрелки дешевле литых на 30—40%, но представляют те неудобства, что вся конструкция расшатывается, гайки болтов ослабевают, и их нужно постоянно подтягивать. Наконец, языки этих стрелок, как более тонкие, скоро изнашиваются и часто ломаются в конце.

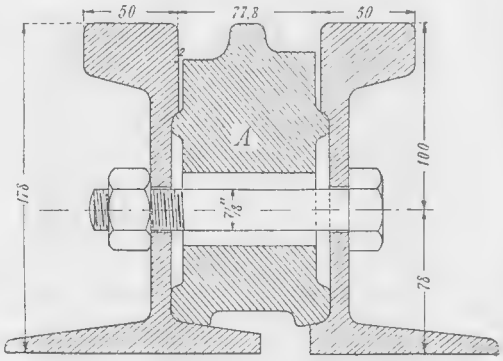
По сравнению со службой литых марганцевых стрелок, срок службы сборных стрелок в 5 раз менее, а потому с точки зрения экономии литые

стрелки более выгодны и получили распространение в последнее время в трамваях с интенсивным движением и тяжелыми вагонами. Применение сборных стрелок можно рекомендовать лишь для переходов, работающих главным образом по прямому направлению, и для парковых узлов с малым движением, а равно и для трамваев второстепенных городов, с узкой колеей и небольшим движением.



Черт. 217.

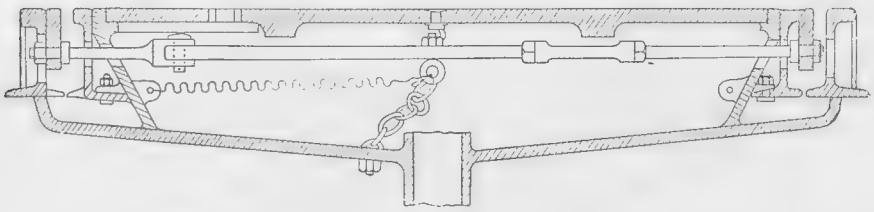
Двухходный замыкатель „Артур Коппель".



Черт. 218.

Поперечный разрез глухой стрелки.

На чертеже 219 изображен одноходный замыкатель двуперой сборной стрелки Московского трамвая. Пружина притягивает штангу и прижимает перья стрелки к рамным рельсам.



Черт. 219.

Одноходный замыкатель Московского трамвая.

Пружина и штанга помещены в коробку, которая одновременно отводит воду от стрелки посредством горловины.

На чертеже 220 — 222 изображено устройство укрепления пяты языка стрелки Московского трамвая.

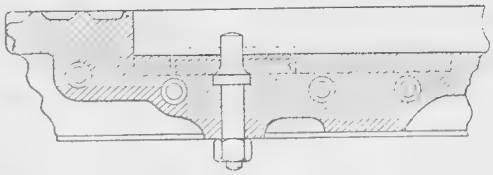
От вертикальных перемещений язык удерживается клиньями *a* и *b*.

В этой конструкции трудно вынуть болт *A*, в случае его поломки, так как необходимо отвинтить гайку *B*, находящуюся под подошвой стрелки.

На чертеже 223 представлен замыкатель завода Артур Коппель, применяемый в Берлине.

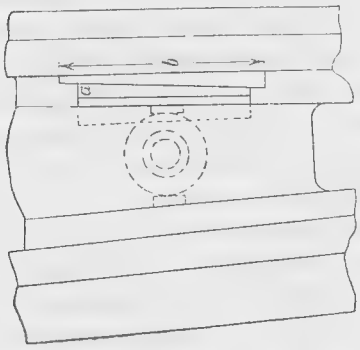
Перевод стрелки производится посредством противовеса A.

Неудобство данной системы заключается в том, что необходима значительной величины коробка для помещения переводного механизма стрелки, и кроме того, перевод стрелки из одного положения в другое требует более сложных манипуляций.



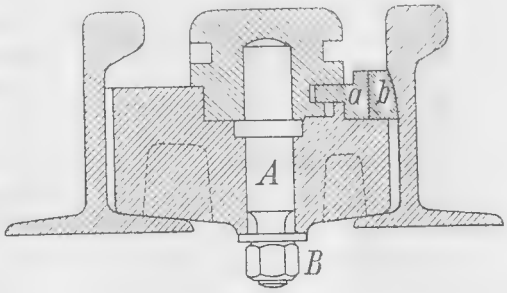
Черт. 220.

Укрепление пяты стрелки Московского трамвая.



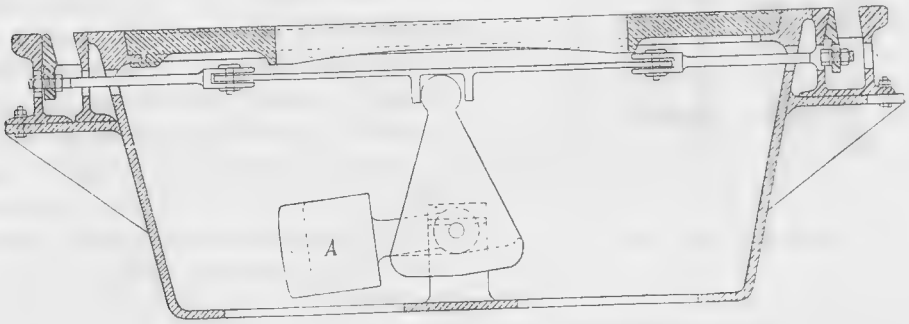
Черт. 221.

Укрепление пяты стрелки Московского трамвая.



Черт. 222.

Укрепление пяты стрелки Московского трамвая.



Черт. 223.

Замыкатель „Артур Коппель", применяемый в Берлине.

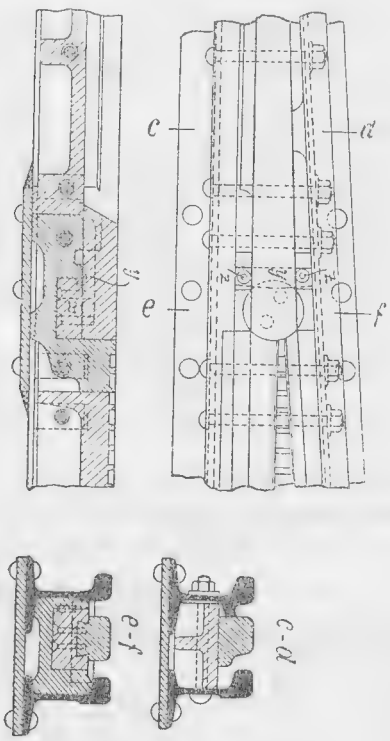
Приведем несколько конструкций укрепления пяты пера.

На чертеже 224 пята пера имеет выступающую цилиндрическую часть x, которая закрепляется на винтах и входит в соответствующее отверстие в литом вкладыше. От вертикальных перемещений пята удерживается металлической пластиной y, которая на половину своей ширины

входит в соответствующий вырез в пяте. К отливке вкладыша пластина прикреплена двумя винтами z.

В данном случае улучшение конструкции состоит в том, что пятовой болт заменен цилиндрическим выступом большого диаметра; это обстоятельство, увеличивая поверхность трения, уменьшает износ и в то же время способствует большей устойчивости пера.

Конструкция острия пера в последних типах проектируется по трем схемам: 1-ая схема — черт. 225, — острие пера сходит на нет, 2-ая — черт. 226, — острие пера несколько утолщенное и схема 3-ья, черт. 227, — острие пера в начале имеет 10 миллиметров. В последнем случае рамные рельсы должны иметь специальное углубление. Эта последняя конструкция применяется лишь в стрелках, собранных из рельс с головкой достаточной ширины, допускающей устройство углублений.



Черт. 224.

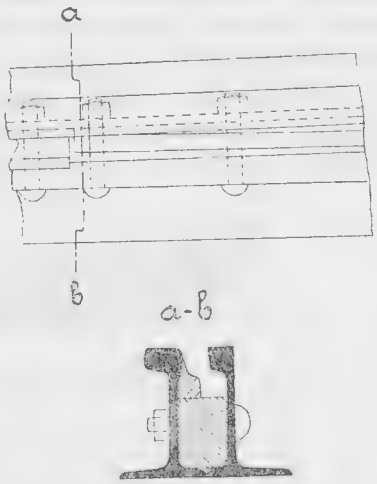
Тип укрепления пяты сборной стрелки.

Как общее правило, перо проектируется с уширением подошвы, причем, в случаях укладки стрелок на улицах с булыжными мостовыми, поперечное сечение пера приближают насколько возможно к форме трапециодальной.

На чертеже 228 изображена конструкция укрепления пяты одной из последних стрелок в Германии. Пята языка состоит из цилиндрического выступа A большого диаметра; гнездо в отливке вкладыша сделано большого размера, и пятовой прилив укрепляется в нем вкладышем B, который в свою очередь укреплен пластинкой K, состоящей из двух частей. В вертикальном направлении перо удерживается выступом подошвы его c, который заходит под головку контр-рельса. Чтобы вынуть перо, нужно раздвинуть пластины K по направлению стрелок, сдвинуть вкладыш B и пяту, чтобы прилив c вышел из-под головки контр-рельса. Эта конструкция употребляется для стрелок переходов, работающих главным образом по одному направлению; при износе пятового болта, достаточно заменить вкладыш B новым.

На чертеже 229 представлена конструкция устройства пяты пера стрелки по системе Гессе. Особенность конструкции заключается

в отсутствии пятового болта в пере стрелки. Как видно из чертежа, перо стрелки снабжено боковым выступом x и с противоположной стороны вырезом y полукруглой формы. К рамному рельсу стрелки на болтах прикреплена часть z, входящая в соответствующий вырез пера y. С другой стороны перо удерживается вставкой d, которая имеет приливы обработанные по дугам круга радиуса r и R, в соответствии с выступающей частью пера. Остальные детали устройства понятны из чертежа. Как это видно, поверхности трения пера в данной конструкции увеличены по сравнению со стрелками, снабженными пятовыми болтами, а, следовательно, износ трущихся частей меньше.

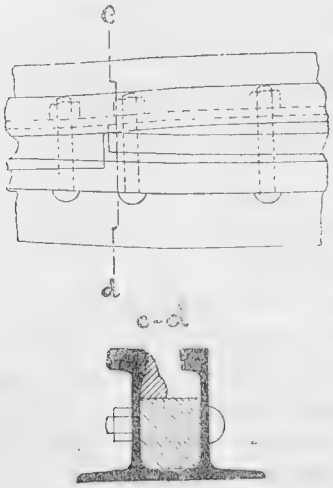


Черт. 225.

Конструкции острия пера.

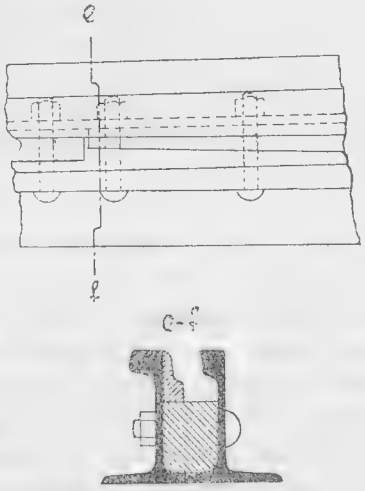
Конструкция эта применена недавно, и за неимением опытных данных трудно сказать, даст ли она хорошие результаты на практике.

Вообще говоря, как видно из вышеприведенных типов, сборные стрелки отличаются сложностью конструкции, причем имеется много отдельных частей, соединенных болтами, винтами, клиньями и проч. Все эти части быстро расшатываются, и вся стрелка приходит в расстройство. Начинаются



Черт. 226.

Конструкции острия пера.

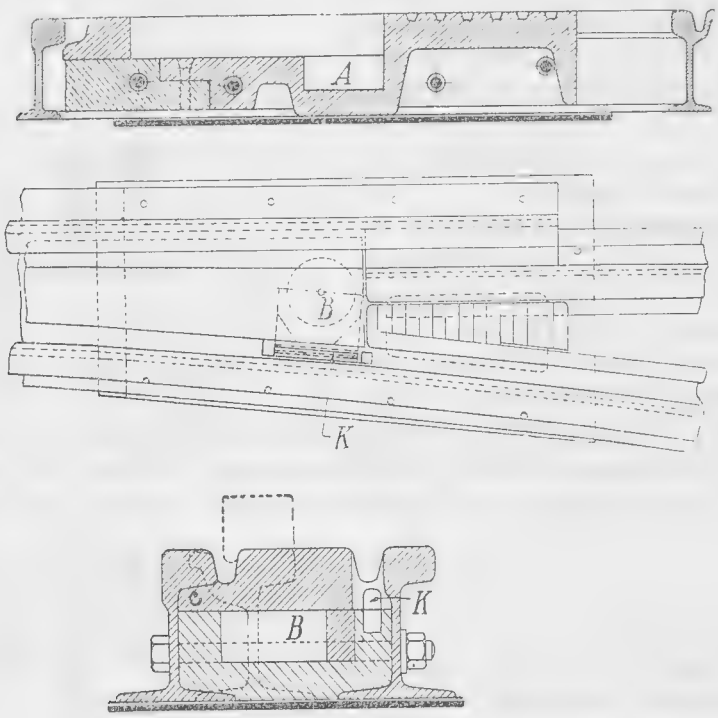


Черт. 227.

Конструкции острия пера.

удары при проходе подвижного состава, во избежание этого сборные стрелки требуют постоянного, внимательного осмотра и сложного ремонта.

Как было уже указано, устройство толстых перьев затрудняется вследствие невозможности сделать соответствующие вырезы в рамных рельсах. В виду этого применение одноперых сборных стрелок нерационально, так как происходят частые поломки перьев. Можно рекомендовать употребление исключительно двуперых сборных стрелок, причем в конечном итоге применение их менее выгодно при интенсивном движении и больших скоростях, чем литых из марганцевой стали.



Черт. 228.

Укрепление пяты Германской стрелки.

Сборные стрелки в настоящее время могут применяться для пригородных линий при укладке вне экипажного движения, вне замощения.

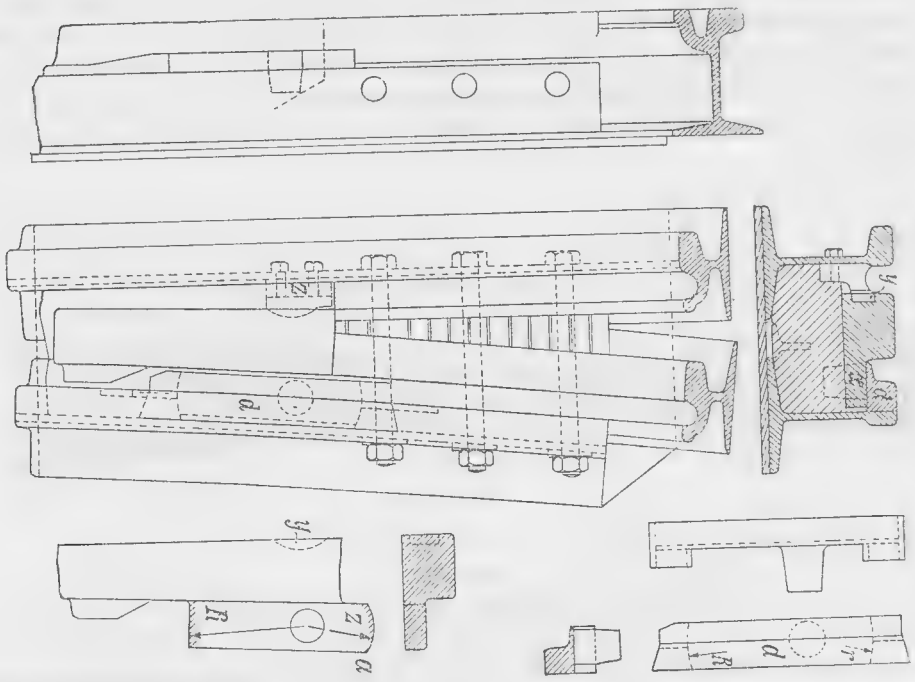
В этом случае условия работы приближаются к железным дорогам нормального типа, и отличие, главным образом, заключается в применении кривых перьев, очерченных по кривым меньших радиусов. Как пример, можно привести стрелку Ораниенбаумской электрической железной дороги, в свое время получившую утверждение б. Инженерного Совета М П. С.

Стрелка сконструирована из рельсов типа II-а, весом 28,5 ф./ф.; перья строганные из рельсов того же типа, причем наружное перо спроек-

тировано по кривой радиуса $R = 30$ м. Укрепление пера в пяте сделано накладками нормального типа, при расстоянии в корне 57 мм. Ход пера в месте прикрепления переводной штанги принят в 125 мм.

Переводный механизм применен нормального типа с противовесом.

Для главных и станционных путей применяются стрелки с кривым наружным пером, радиуса $R = 60$ м., фасонного профиля; укрепление в корне осуществлено по типу нормальных стрелок казенного типа.



Черт. 229.

Укрепление пяты по системе Гессе.

Таким образом, главные отличия стрелок пригородных жел. дор. от магистральных сводятся к следующему:

1) Радиус кривизны перьев $R = 60$ м. и $R = 30$ м. вместо 250 и 150 м.

2) Меньшая длина перьев, как результат предыдущего.

3) Меньшие уширения в кривой, в зависимости от типа ходовых частей подвижного состава.

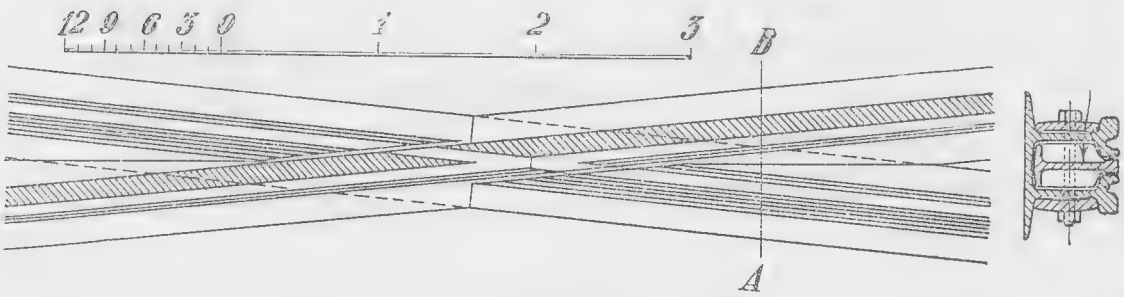
Крестовины.

При проектировке путей городских трамваев в громадном большинстве случаев приходится сообразоваться с местными условиями и задаваться углами пересечения путей, в зависимости от углов пересечения улиц.

В виду этого крестовины, представляющие собой конструкции для пересечения одного рельса с другим, крайне разнообразны и количество типов их неограниченно.

Вообще говоря, крестовины можно разделить на две группы.

I. Крестовины, которые укладываются при пересечении одного прямого рельса с другим прямым рельсом, — так называемые, прямые крестовины. В зависимости от угла пересечения путевых рельсов меняется и угол крестовины. Угол пересечения путей всецело зависит от угла пересечения улиц, и так как последний варьирует в значительных размерах, то получается большое количество типов крестовин от угла в 90° до 60° и т. д.



Черт. 230.

Сборная крестовина из строганых рельс.

При переходах с одного пути на другой, параллельный ему, можно принять для крестовины угол, соответствующий уклону в отношении 1 : 6.

II. Крестовины ответвлений путей в узлах.

Эти крестовины укладываются в местах пересечений рельсов прямого пути с рельсами кривого пути или при пересечении одного кривого пути с рельсами другого кривого пути. В этом случае кривизна крестовин должна соответствовать кривизне пересекающихся рельсов, и в виду большого разнообразия радиусов кривизны соединительных кривых, получается значительное количество типов кривых крестовин.

В зависимости от способа изготовления, крестовины бывают литые или сборные из рельсов

Дадим описание некоторых из существующих типов.

Обыкновенные пересечки.

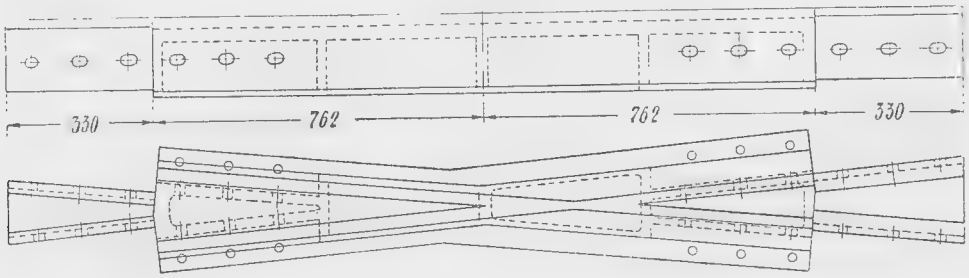
Крестовина этого типа показана на чертеже 230.

Она состоит из двух рельс, из которых у одного срезана головка, у другого подошва. Рельсы соединены обыкновенными накладками под углом, соответствующим наружному углу пересечения. Постоянство угла пересекающихся рельсов обеспечено чугунными прокладками, и вся система связана болтами. В головке и контр-рельсе вырубается соответствующий желоб для прохода бандажа.

Крестовины этого типа легко могут быть приспособлены к разным углам и к разной кривизне. Они обладают простотой конструкции, но неспособны выдержать больших нагрузок, быстро расшатываются и изнашиваются.

В виду этого они могут применяться для конной тяги и, лишь при самом незначительном движении, на электрических трамвайных путях.

На чертеже 231 показана прямая литая крестовина, концы которой, соединяющиеся с рельсами, имеют форму прокладок в виде ласточкина хвоста и с боковых сторон отделаны по форме накладок.



Черт. 231.

Литая прямая крестовина.

При небольших углах уклона крестовины можно употреблять длинные болты, проходящие через концы рельсов и прокладку, но при больших углах необходимо делать гнезда в отливке, так как длинные болты вследствие их косого расположения неплотно схватывают прокладку с телом крестовины, и прокладка быстро расшатывается.

Для больших углов лучше делать крестовину длиннее и кончать ее профилями нормального рельса, при этом четыре конца крестовины можно соединить с рельсами обыкновенными накладками. Для возможности такого соединения необходимо, чтобы между концами крестовины было достаточно места для присоединения рельс без срезки подошвы их и размещения стыковых накладок.

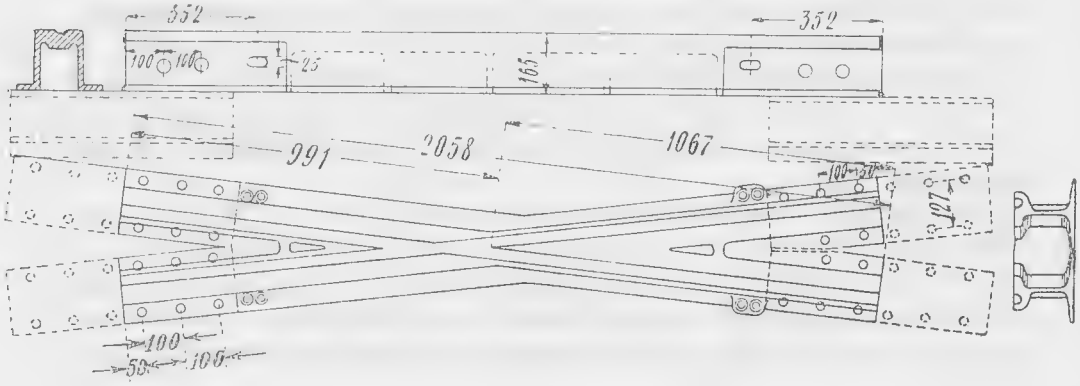
На черт. 232 показана такая крестовина при угле наклона в отношении $1:4^1/_2$, нормального образца завода Гетфильда.

Общий вид ее иллюстрируется фотографией № 233.

Она отлита из марганцевой стали и имеет накат желоба подобно глухой стрелке, во избежание ударов при проходе подвижного состава. Для

укрепления стыков кроме накладок помещаются анкера в виде кусков рельсов, соединенных болтами с подошвой крестовины и рельса.

Вообще говоря, чем короче крестовина, тем легче ее уложить и тем лучше ее отливка. Но для прочности стыковых соединений с рельсом

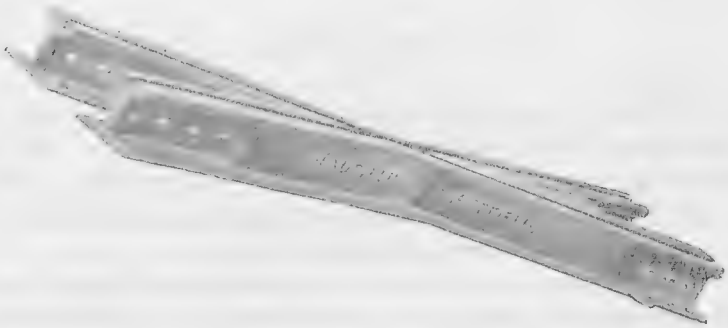


Черт. 232.

Нормальная крестовина завода Гедфильда.

лучше применять более длинные крестовины, имеющие хвостовые части в виде нормальных профилей рельс.

На чертеже 234 представлена крестовина составная, — со вставкой *A* из твердой марганцевой стали, поставленной на заливке из цинка.



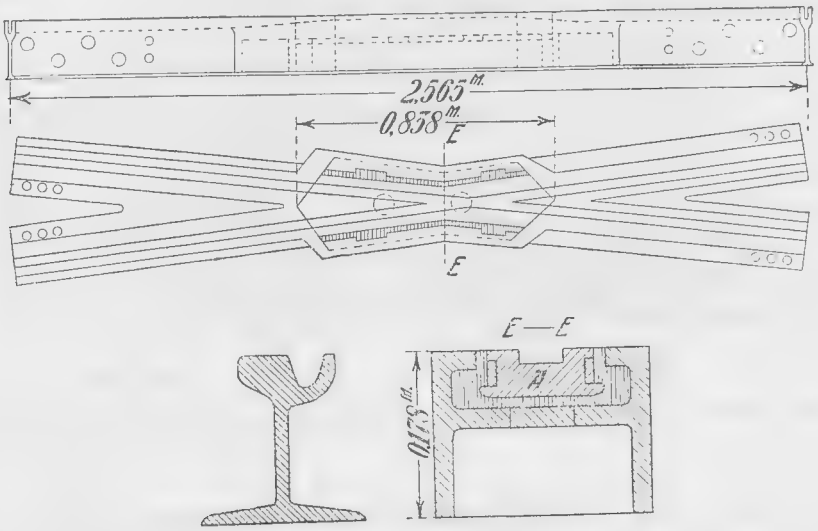
Черт. 233.

Общий вид крестовины завода Гедфильда.

Фот. 235 иллюстрирует общий вид этой крестовины.

Цель подобной конструкции — дать возможность сменять наиболее изнашивающуюся часть, не сменяя всей крестовины. На практике подобное устройство не оправдывается, так как вставки расшатываются и требуют постоянного ремонта.

Чертеж 236 показывает тип крестовины, соединяющейся с рельсами посредством скрепления пяты рельса болтами с соответствующими приливами крестовины.



Черт. 234.

Крестовины со вставкой из марганцевой стали.

Наиболее употребительный тип крестовин при прямом пересечении путей показан на чертеже 237. Это самый простой и наиболее рациональный тип.

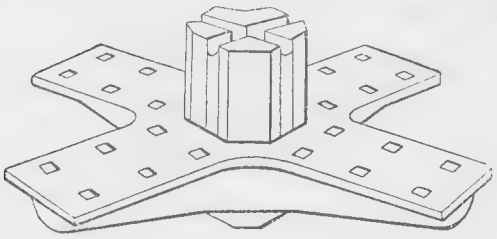
Черт. 235.

Общий вид крестовины со вставкой из марганцевой стали.

В парковых путях при укладке стрелочных улиц приходится встречаться с пересечением трех рельсов на близком расстоянии. В таком случае оба пересечения, глухая стрелка и крестовина, соединяются в одной отливке, как показано на чертеже 238. Фотография № 239 иллюстрирует ее вид.

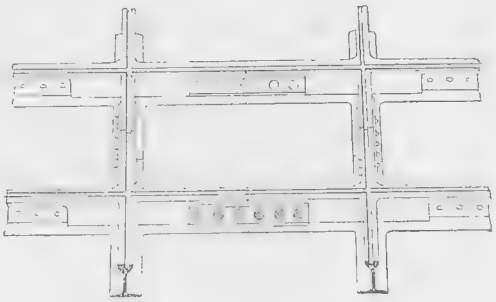
На чертежах 240 и 241 представлены крестовины сборные из строганных рельс, соединенных болтами с чугунными вкладышами.

Чертеж 240 представляет прямую крестовину, черт. 241 кривую крестовину по направлению одного из пересекающихся рельс.



Черт. 236.

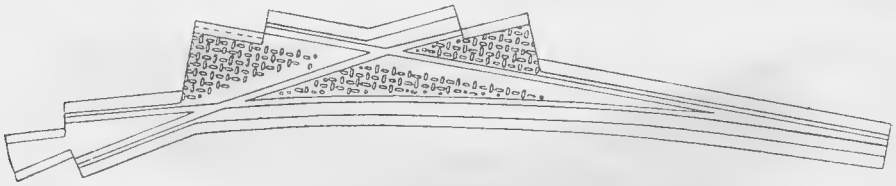
Особый тип крестовины для прямых пересечений.



Черт. 237.

Нормальный тип крестовины при прямом пересечении путей.

Обе крестовины снабжены накатом, причем в первом случае накат осуществлен соответствующей оструж кой рельса, во втором — в виде отдельного куска стали, заполняющего желоб на надлежащую глубину. Рациональнее накат делать оструж кой из рельс плоского желоба, так как вставка отдельных кусков стали не дает хороших результатов и быстро расшатывается.



Черт. 238.

Сложная крестовина.

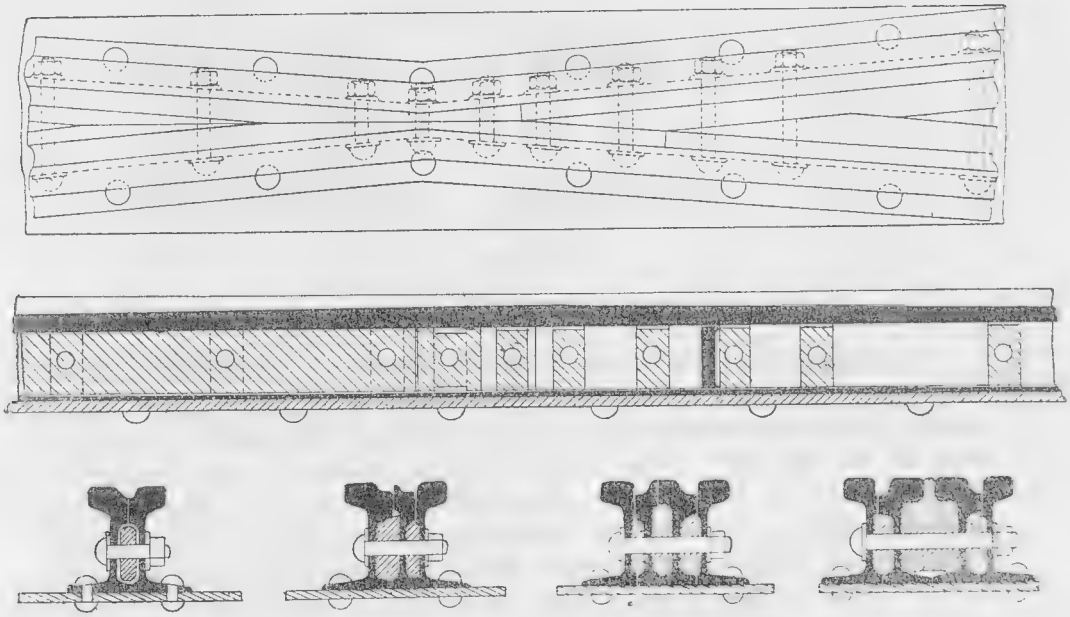
В последнее время появились крестовины из рельсов плоского желоба с остроганным накатом, причем рельс соединяется приваркой подошвы к плоскому листу котельного железа посредством ацетилено-кислородного прибора. В одном рельсе вырезается подошва, в другом головка, и шейки тоже свариваются.

На чертеже 242 изображена крестовина, употребляемая для пересечения в одном уровне трамвайных путей с железнодорожными.

На протяжении переезда Виньолевский рельс железнодорожного пути заменен специальным профилем с широким и глубоким желобом, в соответствии с бандажем железнодорожного подвижного состава.

Черт. 239.

Общий вид сложной крестовины.



Черт. 240.

Прямая сборная крестовина.

Крестовина не имеет наката и отлита из марганцевой стали.

Особая конструкция крестовины с подвижным пером иллюстрируется фотографией № 243.

Для пригородных железных дорог обычно применяются два типа крестовин:

1) литые крестовины из марганцевой стали, с углом наклона $^1/_5$ (для главных и станционных путей).

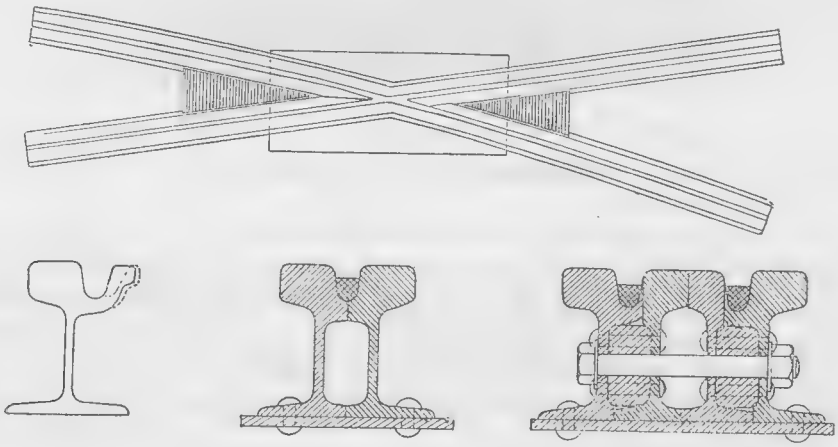
2) сборные крестовины из рельсов данного типа, с углом уклона $^1/_4$ (для парковых путей).

Отличие от железнодорожных крестовин заключается в следующем:

1) больший угол наклона $^1/_5$ и $^1/_4$, вместо $^1/_{11}$ и $^1/_8$.

2) меньшая ширина желоба в крестовине и у контр-рельса: 35 мм. вместо 50 мм., в зависимости от размеров бандажей и насадки.

3) крестовины имеют накат, причем глубина желоба равна высоте реборды.



Черт. 241.

Кривая сборная крестовина.

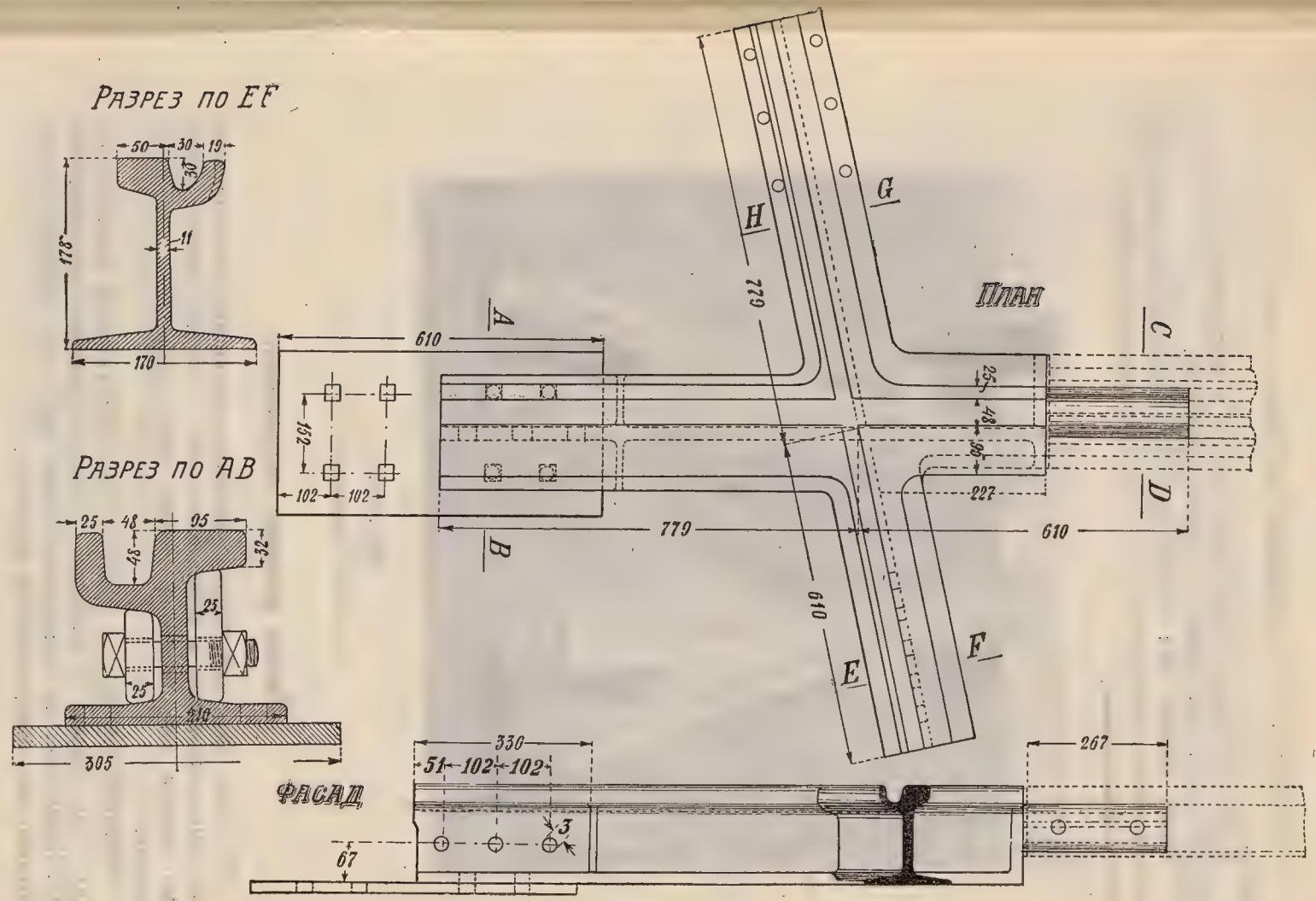
Заканчивая на этом описание типов стрелок и крестовин, остается упомянуть об опытных данных по службе литых и сборных крестовин и стрелок. По произведенным мною наблюдениям над стрелками и крестовинами из марганцевой стали еще до войны, оказалось, что минимально стрелка служит от 5 до 6 лет, выдерживая за это время от 55 до 66 миллионов тонн груза, т.-е. служба стрелки соответствует проходу в среднем 60 миллионов тонн груза. По данным Москвы сборная стрелка выдерживает от 15 до 20 мил. тонн груза. Стоимость литой стрелки 530 руб. и годовой ремонт 10 руб. Капитализируя из $6^0/_0$ годовых получим:

Стоимость литой стрелки из марганцевой стали в год, принимая самые невыгодные условия, т.-е. малую интенсивность движения в 5 мил. тонн в 1 год —

$$\frac{530}{12} + 5{,}3 \times 6 + 10 = 86 \text{ руб.}$$

Стоимость при тех же условиях сборной:

$$\frac{360}{4} + 3{,}6 \times 4 + 15 = 127 \text{ руб.}$$



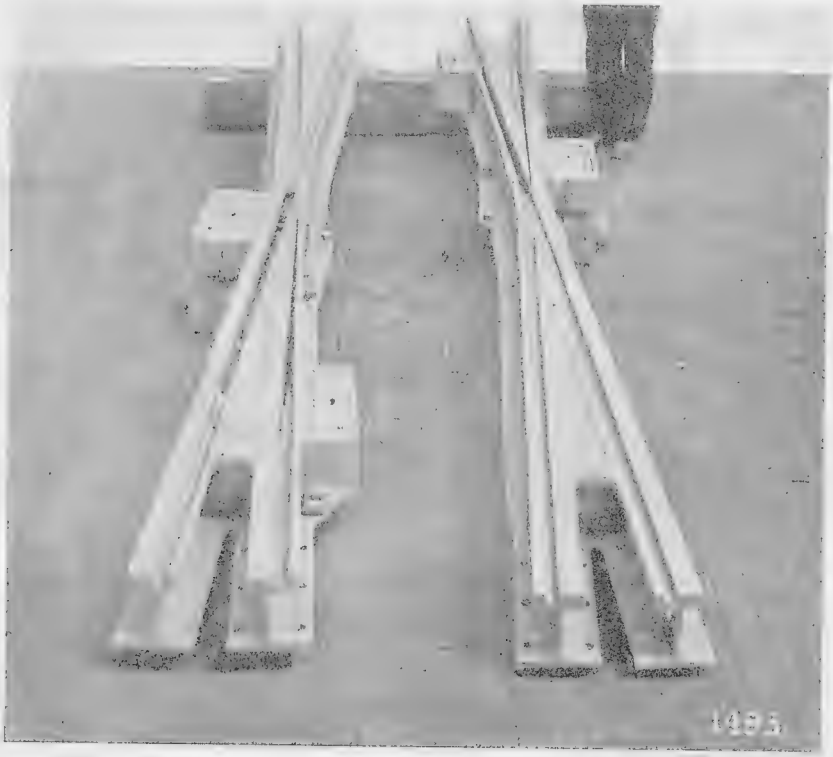
Черт. 242.

Крестовина для пересечения трамв. путей с жел.-дор.

Отсюда ясно, что преимущество на стороне литых стрелок и крестовин.

В настоящее время, при ремонте стрелок и крестовин наваркой изношенных частей, срок службы их почти неограничен.

Таким образом, для предприятий, претендующих на техническую целесообразность конструкций, литые стрелки и крестовины являются единственно приемлимыми.



Черт. 243.

Крестовина с подвижным пером.

Расчет узловых соединений.

Как выше было уже указано, основными элементами узлов являются стрелочные ответвления и пересечения путей, а потому достаточно дать схемы расчета этих последних, чтобы иметь возможность рассчитать весь узел.

В каждом узле должны быть указаны геометрические элементы входящих в него стрелок и крестовин и радиусы кривизны соединительных рельс. Кроме того, для возможности сборки узла и его разбивки на месте необходимо дать координаты всех крестовин.

Эпюры стрелок.

В частности, для стрелок указывается длина отливки, радиус кривизны стрелки и марка, характеризующая направление ответвления, тип стрелки (двуперая или одноперая, подвижная или глухая), тип замыкателя (автоматический или двуходный).

Для расчета необходимо знать:

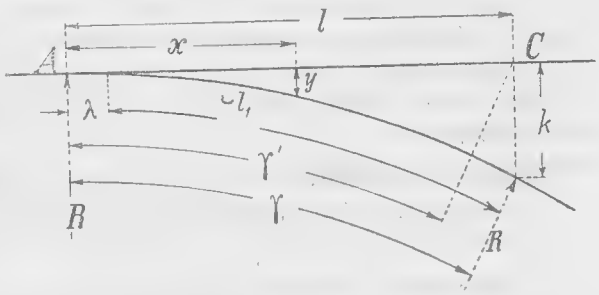
1) длину стрелки по кривому и прямому направлению,

2) центральный угол, соответствующий длине стрелки по кривой,

3) радиус кривизны стрелки,

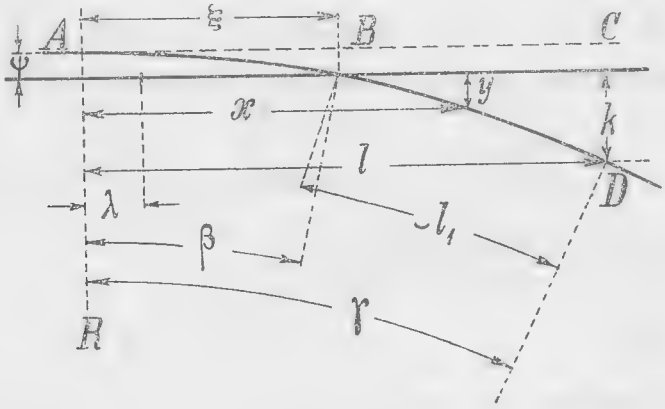
4) расположение стыка отливки стрелки относительно математического острия стрелки,

5) способ проектировки стрелки (с пересечением рамного рельса или без пересечения).



Черт. 244.

Эпюра пера стрелки без пересечения рамного рельса.



Черт. 245.

Эпюра пера стрелки с пересечением рамного рельса.

На чертеже 244 представлена эпюра стрелки без пересечения рамного рельса, причем кривая рабочего канта стрелки радиуса R касательна к рабочему канту рамного рельса в точке A.

На чертеже 245 представлена эпюра стрелки с пересечением рамного рельса, причем кривая рабочего канта стрелки пере-

секает рабочий кант рамного рельса в точке „B“ и касательна в точке „A“ к линии параллельной ему, отстоящей в расстоянии ψ.

В обоих случаях величины: λ — расстояние стыка стрелки от ее математического острия и k — расстояние между рабочими кантами прямого и кривого рельса в стыке у корня стрелки — зависят от конструктивных соображений и от радиуса кривизны пера. Для ходовых типов литых стрелок, спроектированных без пересечений рамного рельса, обычно $\lambda = 0$ при $R = 30{,}00$ м. для внутренней стрелки и $\lambda = 305$ мм. при $R = 45{,}00$ м.

Величина k обусловливается возможностью разместить накладки нормального стыка без срезки подошв рельсов. Обычно принимают $k > 180$ мм.

Расчет элементов эпюры стрелки представится в следующем виде.

Стрелка без пересечения рамного рельса (черт. 244):

уравнение кривой $x = \sqrt{2Ry - y^2}$;

длина стрелки от математического острия пера до стыка у пяты стрелки:

$$l = \sqrt{2Rk - k^2};$$

действительная длина стрелочной отливки от стыка у начала до стыка в пяте:

$$l - \lambda;$$

центральный угол γ, соответствующий длине кривой l_1, при абсциссе равной l:

$$\gamma = arc\,Sin\,\frac{l}{R};$$

длина теоретической кривой:

$$\smile l_1 = \pi R\,\frac{\gamma}{180^\circ},$$

длина кривой от стыка:

$$\smile l_1 - \gamma.$$

Радиус R принят для внутреннего рельса, поэтому для наружной нитки при одинаковой величине длины прямой части стрелки „l“ получим:

$$\gamma_1 = arc\,Sin\,\frac{l}{R+S},$$

и соответственно:

$$\smile l_2 \pi = (R + S) \cdot \frac{\gamma_1}{180}$$

и длина кривой от стыка:

$$\smile l_2 - \lambda.$$

В некоторых типах принимают длину кривой части стрелки l_1 в зависимости от величины угла γ', т. е. $\gamma' = arctg \frac{l}{R}$, причем стыки у пяты стрелки располагаются по направлению радиуса, проходящего через точку „C“; в этом случае расчет длин кривых частей стрелки изменяется соответственно изменению величины угла γ.

Стрелка, спроектированная с пересечением рамного рельса (черт. 245).

Уравнение кривой получает такой вид:

$$x = \sqrt{2R(y + \psi) - (y + \psi)^2};$$

величина $\xi = \sqrt{2R\psi - \psi^2}$

угол удара в точке „B“:

$$\beta = arc\,Sin \frac{\xi}{R};$$

длина стрелки от математического острия в точке A до стыка в пяте стрелки „B“:

$$l = \sqrt{2R(\psi + k) - (\psi + k)^2}$$

действительная длина стрелки от стыка до стыка:

$$l - \lambda;$$

центральный угол γ, соответствующий длине кривой при абсциссе l:

$$\gamma = arc\,Sin \frac{l}{R};$$

длина кривой части стрелки от A до D:

$$\smile l_1 = \pi R \frac{\gamma}{180};$$

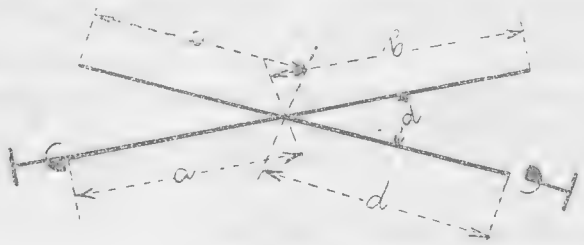
действительная — от стыка до стыка:

$$\smile l_1 - \lambda$$

Для наружной нитки расчет идет соответственно вышеприведенному случаю стрелки без пересечения рамного рельса.

Эпюры крестовин.

Для крестовины необходимо указать: прямая она или кривая, односторонней кривизны или двусторонней, сложная или простая, и угол крестовины, причем для кривых крестовин он определяется между направлениями касательных к кривым, очерчивающим крестовину, в точке математического острия.



Черт. 246.

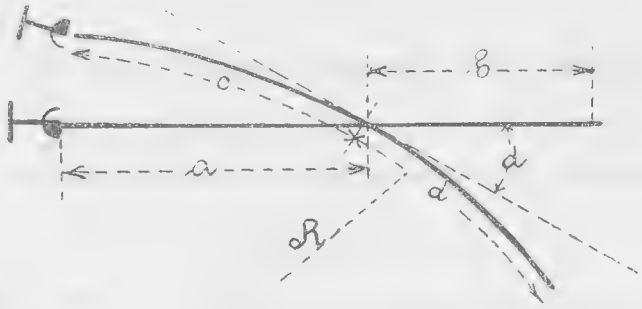
Прямая крестовина.

Поясним вышесказанное примером:

1) Прямая крестовина (черт. № 246).

Необходимо дать угол α и размер частей a, b, c, d, считая их от математического острия.

2) Простая крестовина односторонней кривизны (черт. № 247).



Черт. 247.

Крестовина односторонней кривизны.

Нужно определить угол α; радиус кривизны R и размеры частей a, b, c, d, причем c и d считаются по длине дуги.

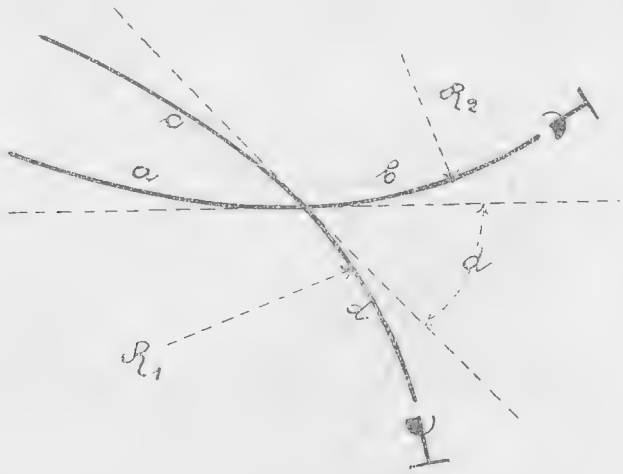
3) Простая крестовина двусторонней кривизны (черт. № 248).

Нужно определить угол α, радиусы кривизны R_1 и R_2 и длины частй a, b, c и d, считая их по длинам дуг.

4) Сложная крестовина (черт. № 249).

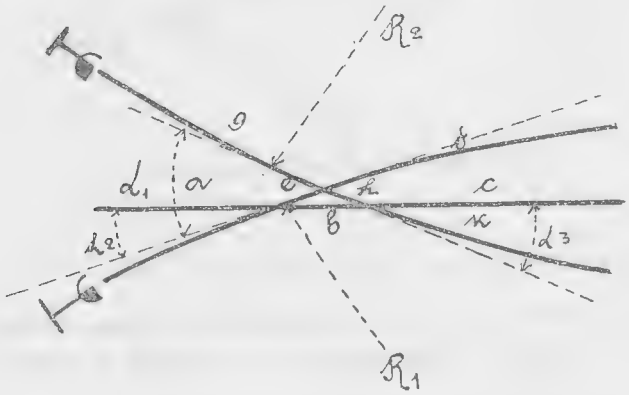
Нужно определить углы α_1, α_2 и α_3, радиусы R_1 и R_2, а также размеры частей a, b, c, d, e, f, g, h, k.

Расчет геометрических эпюр крестовин представляется в следующем виде:



Черт. 248.

Крестовина двусторонней кривизны.



Черт. 249.

Сложная крестовина.

Крестовина односторонней кривизны.

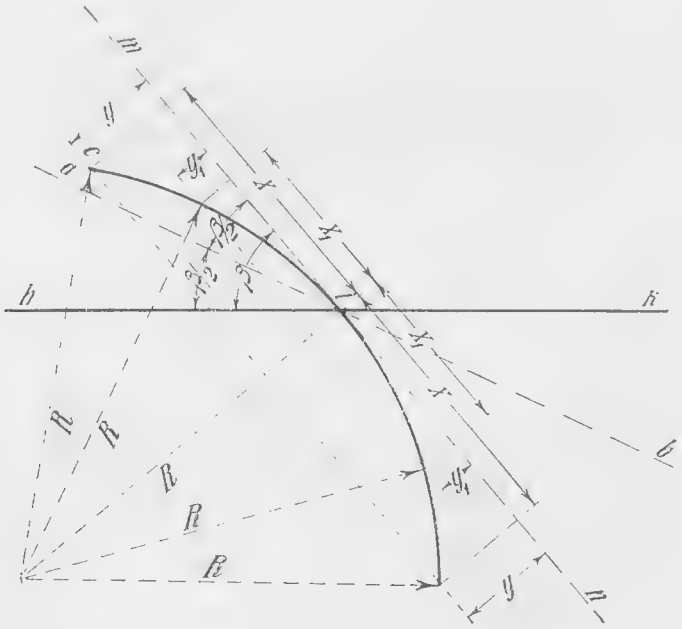
Для построения эпюры крестовины (черт. 250) необходимо знать угол между прямой частью крестовины (линия hk) и касательной к кривой части (линия mn), по чертежу — угол β, а также радиус кривой R.

Координаты кривой определяются из выражений:

$$y = R - \sqrt{R^2 - x^2}$$

$$y_1 = R - \sqrt{R^2 - x_1^2}$$

Длины хвостовых частей берутся по конструктивным соображениям (возможность устройства нормального стыка).



Черт. 250.

Эпюра крестовины односторонней кривизны.

Крестовина двусторонней кривизны.

Эпюра крестовины (черт. 251) определяется углом α между касательными mn и hk к кривым, очерчивающим крестовину, и радиусами R_1 и R_2 этих кривых.

Координаты кривых определяются из выражений:

$$y = R_1 - \sqrt{R_1^2 - x^2}$$

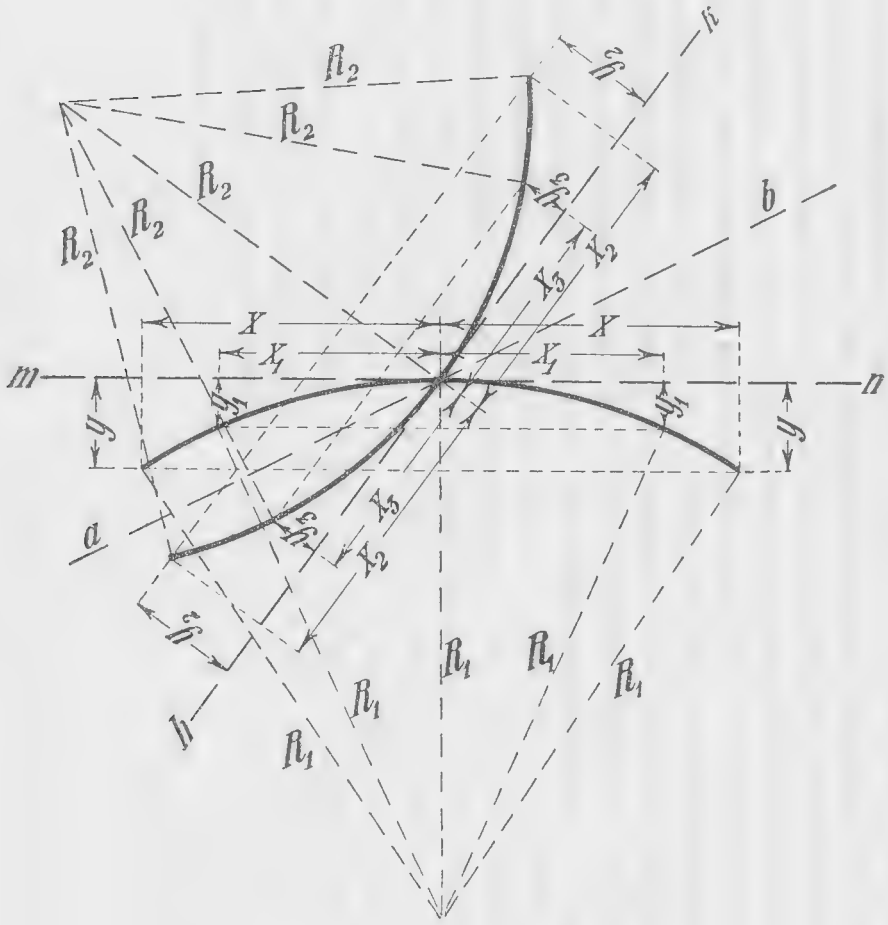
$$y_1 = R_1 - \sqrt{R_1^2 - x_1^2}$$

$$y_2 = R_2 - \sqrt{R_2^2 - x_2^2}$$

$$y_3 = R_2 - \sqrt{R_2^2 - x_3^2}$$

Длины хвостовых частей определяются по тем же конструктивным соображениям.

В нижеследующих двух таблицах (см. стр. 268 и 269) приведены ординаты кривых „y“ для данных абсцисс „x“ и радиусов R. Абсциссы помещены в вертикальном левом ряду, радиусы в горизонтальном верхнем. Абсциссы и ординаты даны в миллиметрах, радиусы — в метрах.



Черт. 251.

Эпюра крестовины двусторонней кривизны.

ТАБЛИЦА № 1.

R	15	15,5	16	16,5	17	17,5	18	18,5	19	19,5	20	20,5	21	21,5	22	22,5	23	23,5	24	24,5	25	25,5	26	26,5	27	27,5	28	28,5	29	29,5	30	30,5	31	31,5	32	32,5
x																		y																		
200	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
400	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2
600	12	12	11	11	11	10	10	10	10	9	9	9	9	8	8	8	8	8	8	7	7	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5
800	21	21	20	19	19	18	18	17	17	17	16	16	15	15	15	14	14	13	13	13	13	13	12	12	12	12	11	11	11	11	11	10	10	10	10	10
1000	33	32	31	30	30	29	28	27	26	26	25	24	24	23	23	22	22	21	21	20	20	20	19	19	18	18	18	17	17	17	17	16	16	16	16	15
1200	48	46	45	44	43	41	40	39	38	37	36	35	34	34	33	32	31	31	30	29	29	28	28	27	27	26	26	25	25	24	24	23	23	23	22	22
1400	66	63	61	60	58	56	55	53	52	50	49	48	47	46	45	44	43	42	41	40	39	38	38	37	36	36	35	34	34	33	33	32	32	31	31	30
1600	86	83	80	78	76	73	71	69	67	66	64	63	61	60	58	57	56	54	53	52	51	50	49	48	47	47	46	45	44	43	43	42	41	41	40	39
1800	108	105	102	99	96	93	90	88	85	83	81	79	77	75	74	72	70	69	68	66	65	64	62	61	60	59	58	57	56	55	54	53	52	51	51	50
2000	134	130	125	122	119	115	111	109	106	103	100	98	96	93	91	89	87	85	83	82	80	79	77	75	74	73	72	70	69	68	67	66	65	63	62	61
2200	162	157	152	147	143	139	135	131	128	124	121	118	116	113	110	108	105	103	101	99	97	95	93	91	90	88	87	85	83	82	81	79	78	77	76	74
2400	193	187	181	175	172	165	161	156	152	148	145	141	138	134	131	128	125	123	120	118	115	113	111	109	107	105	103	101	99	98	96	94	93	91	90	89
2600	227	220	213	206	200	194	189	183	179	174	170	166	162	158	154	151	147	144	141	138	135	133	130	128	125	123	121	119	117	115	112	111	109	107	106	104
2800	264	255	247	239	232	226	219	213	208	202	197	192	187	183	179	175	171	167	164	160	157	154	151	148	145	143	140	138	135	133	131	129	127	125	123	121
3000	303	293	284	275	267	259	252	245	238	232	226	221	215	210	205	201	196	192	188	184	181	177	174	170	167	164	161	158	156	153	150	148	145	143	141	139
3200	345	334	323	313	304	296	287	279	271	264	258	251	245	239	234	229	224	219	214	210	206	202	198	194	190	187	183	180	177	174	171	169	166	163	160	158
3400	390	377	365	354	343	333	324	315	307	299	291	284	277	270	264	258	253	247	242	237	232	227	223	219	215	211	207	203	199	195	192	190	187	183	180	178
3600	438	424	410	397	386	375	364	354	344	335	327	319	311	303	296	289	283	277	272	266	261	255	250	246	241	237	232	228	224	220	216	214	210	205	203	200
3800	489	473	458	444	430	418	406	395	384	374	364	355	347	338	331	323	316	309	303	296	290	284	279	274	269	264	259	254	249	245	241	238	234	229	225	223
4000	543	525	508	492	477	463	450	438	426	415	404	394	384	375	366	358	350	343	336	329	322	315	309	304	298	292	287	282	277	272	267	263	259	255	251	247

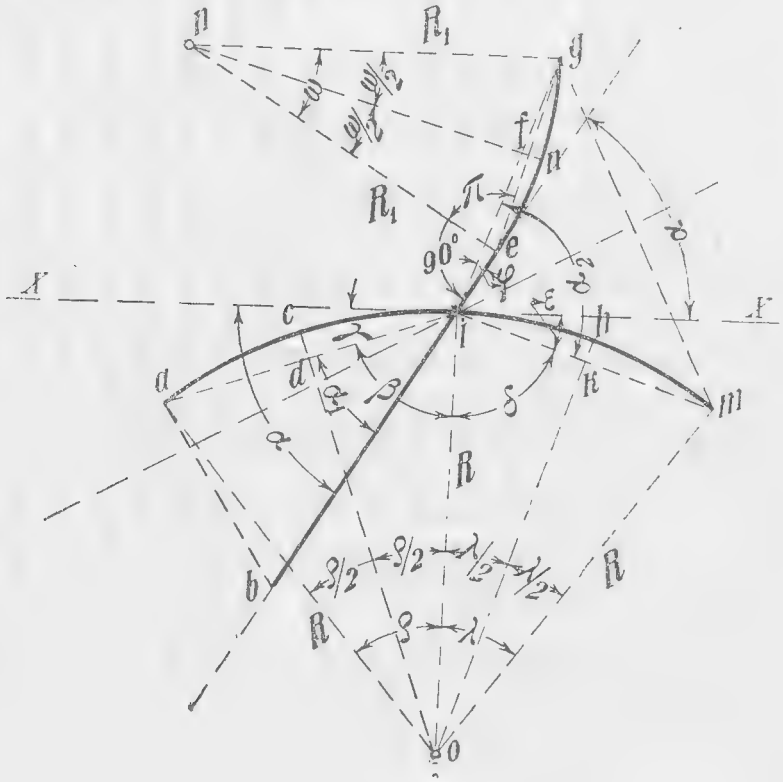
ТАВЛИЦА № 2.

R	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51
x	y																		
250	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
500	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
750	8	8	8	8	8	7	7	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6	6	6
1000	15	15	14	14	14	13	13	13	12	12	12	11	11	11	11	10	10	10	10
1250	24	23	22	22	21	20	20	20	19	19	18	18	17	17	17	16	16	16	16
1500	34	33	32	31	30	30	29	28	27	27	26	25	25	24	24	23	23	23	22
1750	46	45	44	42	41	40	39	39	37	36	36	35	34	33	33	32	31	31	30
2000	61	59	57	55	54	53	51	50	49	48	47	46	44	43	42	42	41	40	39
2250	77	75	72	70	68	67	65	63	62	60	59	58	56	55	54	53	52	51	50
2500	95	92	89	87	84	82	80	78	76	74	73	71	70	68	66	65	64	63	61
2750	115	111	108	105	102	100	97	94	92	90	87	86	84	82	80	79	77	76	74
3000	137	133	129	125	122	119	116	112	110	107	105	102	100	98	96	94	92	90	88
3250	160	156	151	147	143	139	136	132	129	126	123	120	118	115	112	110	108	106	104
3500	186	181	175	171	166	161	157	153	150	146	143	139	136	133	131	128	125	123	120
3750	214	207	201	196	191	186	181	176	172	168	164	160	157	153	150	147	144	141	138
4000	243	236	229	223	217	211	206	201	196	191	186	182	178	174	171	167	163	160	157
4250	275	267	259	252	245	238	232	226	221	216	211	206	201	197	193	189	185	181	177
4500	308	299	290	282	275	267	260	254	248	242	236	231	226	221	216	211	207	203	199
4750	344	334	324	315	306	298	290	283	276	269	263	257	251	246	241	236	231	226	222
5000	381	370	359	349	339	330	322	314	306	299	292	285	279	273	267	261	256	251	246

Крестовина двусторонней кривизны с одним прямым концом.

В данной крестовине (черт. 252) известны: угол α, радиусы кривых R и R_1, длины хвостовых частей ai, bi, gi и mi и длина прямой вставки ei.

Нужно определить величины ab и gm, от которых зависит конструкция стыка.



Черт. 252.

Эпюра крестовины двусторонней кривизны с одним прямым концом.

Из чертежа имеем:

$$\text{угол } \rho = \frac{\smile aci}{\pi R} \times 180^\circ,$$

$$\text{хорда } ai = 2\,R\,Sin\,\frac{\rho}{2},$$

$$\text{угол } \beta = 90^\circ - \frac{\rho}{2},$$

$$\text{угол } \gamma = 90 - \beta = \frac{\rho}{2},$$

$$\text{угол } \alpha_1 = \alpha - \gamma = \alpha - \frac{\rho}{2}.$$

Из треугольника aib, в котором известны угол α_1 и стороны ai и bi определится величина ab:

$$ab = \sqrt{ai^2 + bi^2 - 2ai \,.\, bi \,.\, Cos\, \alpha_1}\,.$$

С другой стороны:

$$\text{угол } \omega = \frac{\smile eng}{\pi R_1} \times 180^\circ,$$

$$\text{хорда } eg = 2\, R_1\, Sin\, \frac{\omega}{2},$$

$$\text{угол } \pi = 90^\circ - \frac{\omega}{2},$$

$$\text{угол } gei = 90^\circ + \pi = 180^\circ - \frac{\omega}{2}\,.$$

Из треугольника ige, в котором известны стороны ie и eg, а также угол $ieg = 90^\circ + \pi = 180^\circ - \frac{\omega}{2}$, имеем:

$$ig = \sqrt{ie^2 + eg^2 - 2ie \,.\, eg \,.\, Cos\,(180^\circ - \frac{\omega}{2})}$$

$$\text{и } Sin\, \varphi = \frac{Sin\,(180^\circ - \frac{\omega}{2}) \,.\, eg}{ig}\,.$$

Далее:

$$\text{угол } \lambda = \frac{\smile ihm}{\pi R} \,.\, 180^\circ$$

$$\text{хора } im = 2\, R\, Sin\, \frac{\lambda}{2},$$

$$\text{угол } \delta = 90^\circ - \frac{\lambda}{2},$$

$$\text{угол } \varepsilon = \frac{\lambda}{2},$$

$$\text{угол } \alpha_2 = \varphi + \alpha + \varepsilon.$$

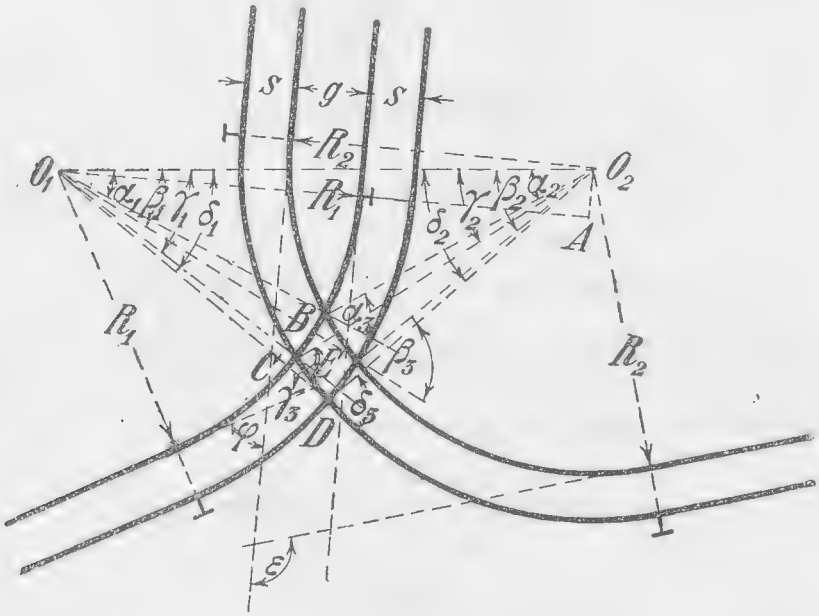
Тогда из треугольника gim, в котором известны стороны ig и im и угол α_2, определяем:

$$gm = \sqrt{ig^2 + im^2 - 2ig.im.Cos\,\alpha_2}.$$

Указав основные эпюры стрелок и крестовин, перейдем к расчету пересечений стрелочных ответвлений и переводов.

Пересечение двух кривых путей.

Даны: радиусы R_1 и R_2 внутренних рельсов, ширина колеи — S и междопутия — g, углы φ и ε и величина $l = O_2A$.



Черт. 253.

Пересечение двух кривых путей.

Нужно определить углы крестовин.

Из чертежа 253 имеем:

1) $O_1A = R_1 - g + R_2$

2) $O_1O_2 = \sqrt{l^2 + \overline{O_1A}^2} = \sqrt{l^2 + (R_1 - g + R)^2} = \xi$

3) $\alpha_3 = \alpha_1 + \alpha_2$; $\beta_3 = \beta_1 + \beta_2$; $\gamma_3 = \gamma_1 + \gamma_2$; $\delta_3 = \delta_1 + \delta_2$

4) Из $\Delta\ O_1BO_2$: $Cos\,\alpha_1 = \frac{\xi^2 + R_1^2 - R_2^2}{2\xi R_1}$; $Cos\,\alpha_2 = \frac{\xi^2 + R_2^2 - R_1^2}{2\xi R_2}$

5) Из $\Delta\ O_1CO_2$: $Cos\ \gamma_1 = \frac{\xi^2 + R_1{}^2 - (R_2+S)^2}{2\xi R_1}$; $Cos\ \gamma_2 = \frac{\xi^2 + (R_2+S)^2 - R}{2\xi (R_2+S)}$

6) Из $\Delta\ O_1DO_2$: $Cos\ \delta_1 = \frac{\xi^2 + (R_1+S)^2 - (R_2+S)^2}{2\xi (R_1+S)}$; $Cos\ \delta_2 =$

$$= \frac{\xi^2 + (R_2+S)^2 - (R_1+S)^2}{2\xi (R_2+S)}$$

7) Из $\Delta\ O_1EO_2$: $Cos\ \beta_1 = \frac{\xi^2 + (R_1+S)^2 - R^2}{2\xi (R_1+S)}$; $Cos\ \beta_2 = \frac{\xi^2 + R_2{}^2 - (R_1+S)^2}{2\xi R_2}$

8) Длина дуги $BC = \frac{(\gamma_1 - \alpha_1)}{180^\circ}\pi R_1$; $\smile ED = \frac{(\gamma_1 - \alpha_1)}{180^\circ}\pi (R_1 + S)$;

$$\smile BE = \frac{(\gamma_2 - \alpha_2)}{180^\circ}\pi R_2; \quad \smile CD = \frac{(\gamma_2 - \alpha_2)}{180^\circ}\pi (R_2 + S).$$

Таким образом, элементы пересечения определены.

Пересечение прямого пути с кривым путем.

Даны: радиус R по оси, угол φ, ширина колеи S, расстояние d (см. чер. 254).

Из чертежа имеем:

$$< bad = \alpha = \varphi$$

$$cd = d tg\, \varphi$$

$$ac = R - cd = R - d tg\, \varphi$$

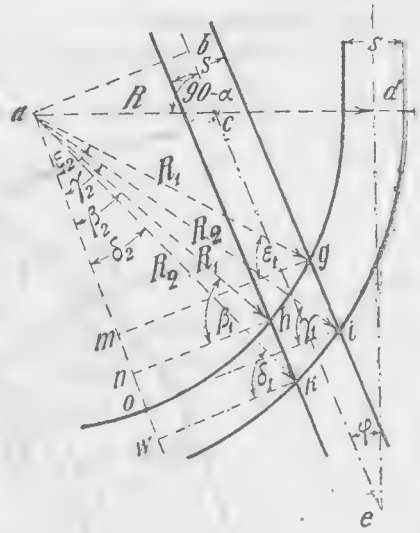
из $\Delta\ abc$ получаем:

$$ab = ac\ Sin\ (90^\circ - \alpha) =$$

$$= (R - d tg\, \alpha)\ Sin\ (90 - \alpha)$$

$$gm = io = ba + \frac{S}{2}$$

$$hn = kw = ab - \frac{S}{2}.$$



Черт. 254.

Пересечение кривого пути с прямым.

Затем определяем углы ε_1, β_1, γ_1, δ_1 и ε_2, β_2, γ_2 и δ_2 из соответственных треугольников.

Из $\Delta\ ahn$ имеем:

$$Cos\ \beta_1 = \frac{hn}{ah} = \frac{ab - \frac{S}{2}}{R_1} = \frac{2ab - S}{2R_1},$$

$$\beta_2 = 90^\circ - \beta_1;$$

$$an = R_1\ Sin\ \beta_1;$$

из $\Delta\ akw$:

$$aw = R_2 \, Sin\, \delta_1$$

$$hk = aw - an = R_2 \, Sin\, \delta_1 - R_1 \, Sin\, \beta_1 \text{ и т. д.}$$

Длины дуг:

$$\smile hg = \frac{\varepsilon_2 - \beta_2}{180^\circ} \pi \left(R - \frac{S}{2}\right); \quad \smile ki = \frac{\gamma_2 - \delta_2}{180^\circ} \pi \left(R + \frac{S}{2}\right)$$

Длины прямых:

$$hk = aw - an = \left(R + \frac{S}{2}\right) Cos\, \delta_2 - \left(R - \frac{S}{2}\right) Cos\, \beta_2$$

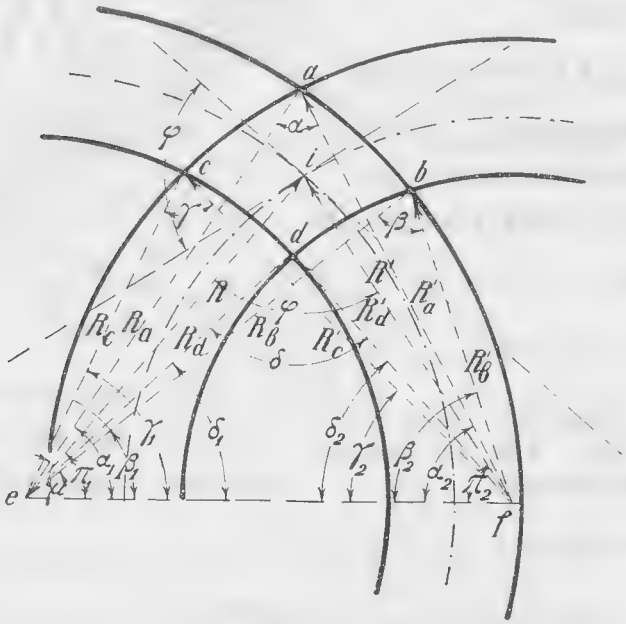
$$gi = \left(R + \frac{S}{2}\right) Cos\, \gamma_2 - \left(R - \frac{S}{2}\right) Cos\, \varepsilon_2$$

Пересечение двух кривых путей при данном угле между касательными в точке пересечения.

Даны радиусы R_1 и R_2 по оси пути, ширина колеи S и угол φ (см. черт. 255).

Из чертежа имеем:

$$ef = \sqrt{R^2 + R'^2 - 2\, R\, R'\, Cos\, \varphi}$$



Черт. 255.

Пересечение двух кривых путей при данном угле.

Для определения углов крестовин α, β, γ и δ имеем выражения:

из Δ aef:

$$Cos\,\alpha = \frac{R^2_a + R'^2_a - ef^2}{2R_a\,R'_a}$$

или

$$Cos\,\alpha = \frac{R^2_a + R'^2_a - R^2 - R'^2 + 2R\,R'\,Cos\,\varphi}{2R_a\,R'_a};$$

из Δ bef:

$$Cos\,\beta = \frac{R^2_b + R'^2_b - R^2 - R'^2 + 2RR'\,Cos\,\varphi}{2R_b\,R'_b};$$

$$Sin\,\alpha_1 = \frac{R'_a\,Sin\,\alpha}{ef};\quad Sin\,\beta_1 = \frac{R'_b\,Sin\,\beta}{ef}$$

$$\alpha_2 = 180^\circ - (\alpha + \alpha_1);\quad \beta_2 = 180^\circ - (\beta + \beta_1)$$

$$\smile ab = arc\,(\alpha_1 - \beta_1)\,R_a \text{ и т. д.}$$

Стрелочные ответвления и соединения путей.

1. Соединение кривою двух пересекающихся прямых путей.

Даны: радиус стрелки R_1 и радиус центральной кривой R, углы Θ и φ; нужно определить:

тангенсы $AB = BC = T$ и угол α.

Из чертежа 256 имеем:

1) $\alpha = \Theta - 2\varphi$

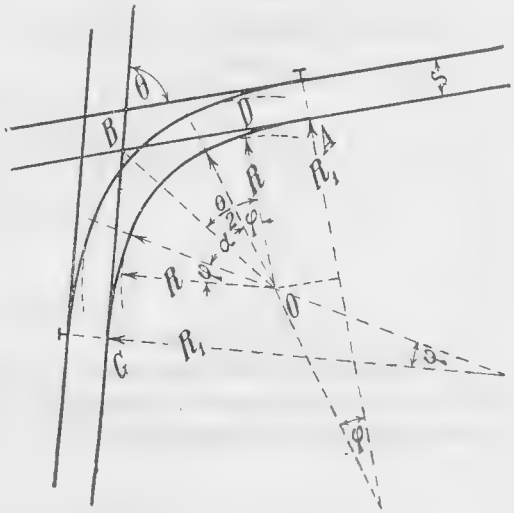
2) $AB = AD + DB$

3) $AD = (R_1 - R)\,Sin\,\varphi$

4) $DB = ODtg\,\frac{\Theta}{2}$

5) $OD = R_1 - (R_1 - R)\,Cos\,\varphi$

6) $AB = BC = T = (R_1 - R)\,Sin\,\varphi + \{R_1 - (R_1 - R)\,Cos\,\varphi\}\,tg\,\frac{\Theta}{2}$

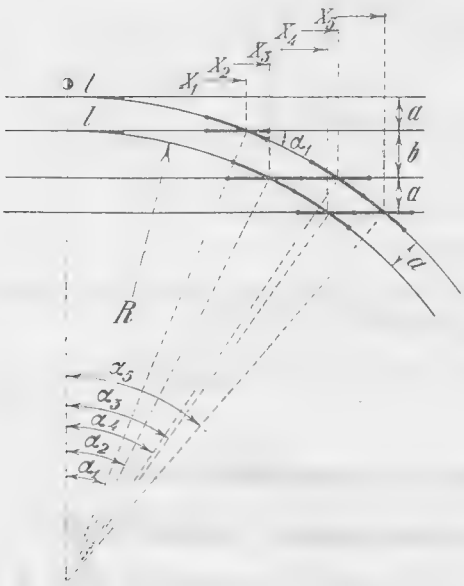


Черт. 256.

Соединение кривою двух пересекающихся прямых.

2. Стрелочное ответвление двупутной линии односторонней кривизны без переходной кривой:

Геометрические элементы данного ответвления, представленного на чертеже 257, определяются из следующих выражений:



Черт. 257.

Стрелочное ответвление без переходной кривой.

$$x_1 = \sqrt{(R+a)^2 - R^2}$$

$$x_2 = \sqrt{R^2 - (R-b)^2}$$

$$x_3 = \sqrt{R^2 - (R-b-a)^2}$$

$$x_4 = \sqrt{(R+a)^2 - (R-b)^2}$$

$$x_5 = \sqrt{(R+a)^2 - (R-b-a)^2}$$

Соответствующие углы α, определяющие углы крестовин, получим, как функции x из уравнений:

$$tg\,\alpha_1 = \frac{x_1}{R}$$

$$tg\,\alpha_2 = \frac{x_2}{R-b}$$

$$tg\,\alpha_3 = \frac{x_3}{R-b-a}$$

$$tg\,\alpha_4 = \frac{x_4}{R-b}$$

$$tg\,\alpha_5 = \frac{x_5}{R-b-a}$$

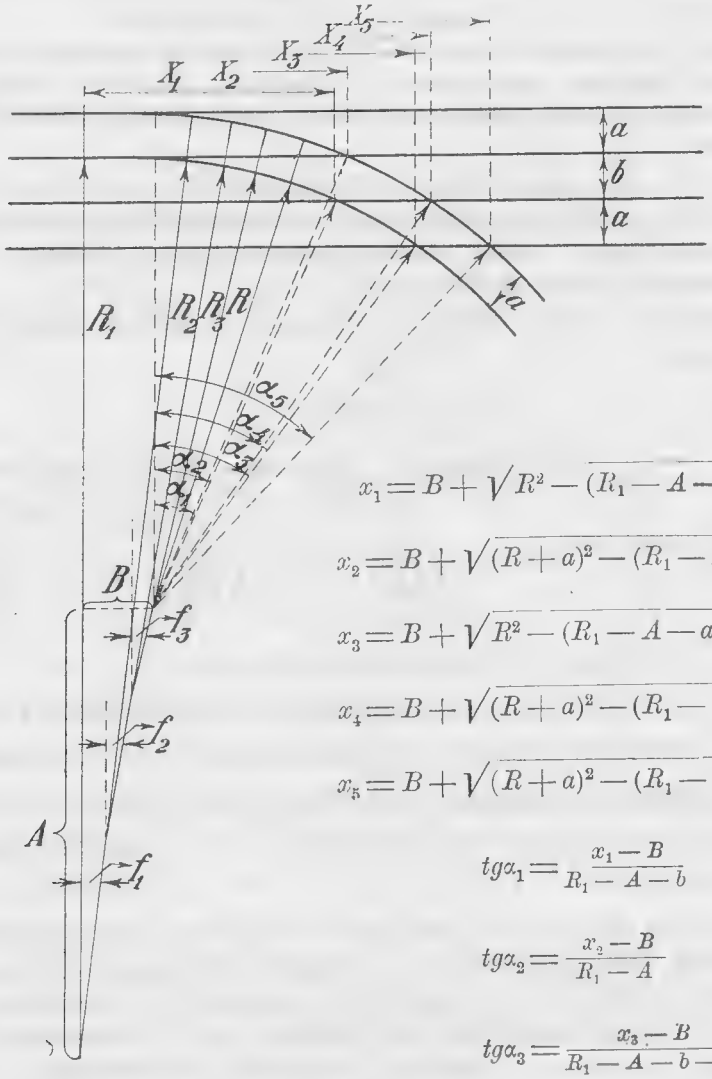
Приведенные формулы наиболее удобны для подсчета, так как определение углов посредством тангенсов дает более точные результаты, чем определение их посредством косинусов по формулам:

$$Cos\,\alpha_1 = \frac{R}{R+a} \text{ и } x_1 = R\,Sin\,\alpha_1;$$

при встречающихся величинах углов косинусы настолько мало разнятся, что вычисление делается затруднительным.

3. Стрелочное ответвление односторонней кривизны с переходной кривой.

В данном ответвлении (черт. 258) радиусы кривизны крестовин менее радиуса кривизны стрелки, и для плавности движения вставлена переходная кривая, состоящая из двух элементов. Координаты и углы крестовии определяются из следующих выражений:



$$x_1 = B + \sqrt{R^2 - (R_1 - A - b)^2}$$

$$x_2 = B + \sqrt{(R + a)^2 - (R_1 - A)^2}$$

$$x_3 = B + \sqrt{R^2 - (R_1 - A - a - b)^2}$$

$$x_4 = B + \sqrt{(R + a)^2 - (R_1 - A - b)^2}$$

$$x_5 = B + \sqrt{(R + a)^2 - (R_1 - A - b - a)^2};$$

$$tg\alpha_1 = \frac{x_1 - B}{R_1 - A - b}$$

$$tg\alpha_2 = \frac{x_2 - B}{R_1 - A}$$

$$tg\alpha_3 = \frac{x_3 - B}{R_1 - A - b - a}$$

$$tg\alpha_4 = \frac{x_4 - B}{R_1 - A - b}$$

$$tg\alpha_5 = \frac{x_5 - B}{R_1 - A - b - a}$$

Черт. 258.
Стрелочное ответвление с переходной кривой.

Что касается выражений A и B, то они определяются из уравнений переходной кривой, а именно:

$$A = (R_1 - R_2)\,Cos\,\varphi_1 + (R_2 - R_3)\,Cos\,\varphi_2 + (R_3 - R)\,Cos\,\varphi_3;$$

$$B = (R_1 - R_2)\,Sin\,\varphi_1 + (R_2 - R_3)\,Sin\,\varphi_2 + (R_3 - R)\,Sin\,\varphi_3.$$

Здесь необходимо отметить, что переходная кривая для узлов данной линии проектируется того же вида, как и для закруглений.

Различие заключается лишь в том, что часть переходной кривой, принятой для разбивки закруглений, с радиусами кривизны более, чем радиусы кривизны стрелки, заменяется дугой круга радиуса равного кривизне стрелки.

Длина этой дуги определится, как функция радиуса кривизны стрелки и величины угла φ, соответствующего той части переходной кривой, которая заменяется дугой круга. Таким образом, радиус кривизны стрелки будет начальным радиусом переходной кривой.

Для примера приведем таблицу переходной кривой для узлов Ленинградского трамвая.

ТАБЛИЦА

№	Центральный угол α	Угол поворота φ	Радиусы		Координаты внутр. рельса			Координаты наружн. рельса			Радиусы центр. части кривой	Координ. начала		Длин. пер. крив.	
			Внутр. рад.	Нар. рад.	x	y	Длина дуги	x	y	Длина дуги		a	b	Внутр.	Наружн.
1	2°	7°	30,000	31,526	3,656	0,223	3,665	3,842	0,235	3,851	30	0	0	—	—
2	2°20′	9°20′	25,610	27,134	4,688	0,372	1,043	4,936	0,392	1,105	25	0,635	0,041	4,708	4,956
3	2°40′	12°	22,310	23,834	5,709	0,563	1,038	6,026	0,579	1,109	20	1,551	0,128	5,746	6,065
4	3°	15°	19,750	21,274	6,714	0,805	1,034	7,109	0,857	1,114	18	2,055	0,192	6,780	7,179
5	3°20′	18°20′	17,700	19,224	7,701	1,102	1,030	8,179	0,178	1,118	16	2,668	0,290	7,810	8,297

Как видно из таблицы, она совершенно аналогична переходной кривой для закруглений, приведенной в главе о кривых (таблица на стр. 159), но 6 первых элементов — от величины радиуса $R_1 = 183{,}80$ м. до $R_6 = 30{,}00$ м., включительно, при угле поворота $\varphi_6 = 7^0$ — заменены дугой круга радиуса $R = 30{,}00$ м.; длина дуги рассчитана по формуле:

$$S = \frac{\pi \times 30{,}00 \times 7^0}{180^0}.$$

Таким образом, начальным радиусом переходной кривой будет радиус кривизны стрелки.

4. Стрелочное ответвление двусторонней кривизны без вставки переходной кривой.

Как видно из чертежа 259, для определения геометрических элементов имеем следующие уравнения:

$$1)\ x_1^2 = 2R_1 f_1 - f_1^2$$

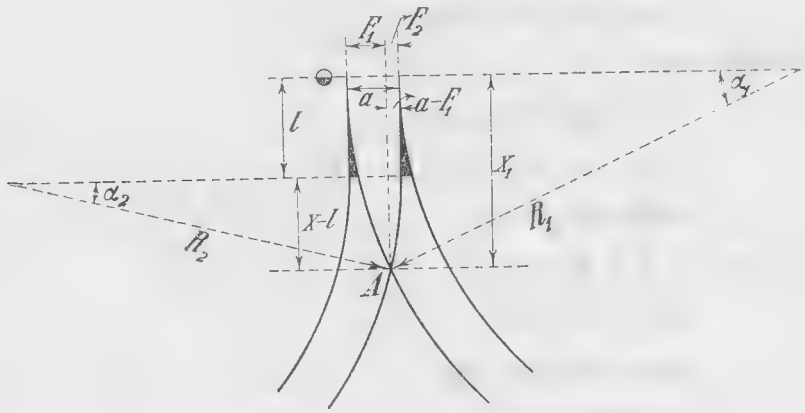
$$2)\ (x_1 - l)^2 = 2R_2(a - f_1) - (a - f_1)^2$$

Решая эти уравнения, имеем:

$$2x_1 l = 2(R_1 + R_2 - a) f_1 + l^2 + a^2 - 2aR_2$$

и, заменяя x_1 его значением из первого уравнения, получим:

$$2l\sqrt{2R_1 f_1 - f_1^2} = 2(R_1 + R_2 - a) f_1 + l^2 + a^2 - 2aR_2,$$



Черт. 259.

Ответвление двустор. кривизны без переходной кривой.

обозначая $R_1 + R_2 - a = S$ и $a(a - 2R_2) = F$ и освобождаясь от радикала, имеем:

$$4(S^2 + l^2) f_1^2 + 4\{S(l^2 + F) - 2l^2 R_1\} f_1 + (l^2 + F)^2 = 0; \quad \ldots \quad \text{(I)}$$

из этого уравнения определяется f_1, причем для удобства вычислений представим уравнение (I) в таком виде:

$$pf_1^2 + gf_1 + r = 0; \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad \text{(II)}$$

где p, q и r имеют числовые значения, определяющиеся из выражений:

$$p = 4(S^2 + l^2) = 4\{(R_1 + R_2 - a)^2 + l^2\}$$

$$q = 4\{S(l^2 + F) - 2l^2R_1\} = -4(R_1 + R_2 - a)(l^2 + a^2 - 2aR_2) + 8l^2R_1$$

$$r = (l^2 + F^2)^2 = (l^2 + a^2 - 2aR_2)^2.$$

Определив f_1 из уравнения (II), уже легко определить соответствующие величины: x_1, $(x_1 - l)$ и $(a - f_1)$, а в зависимости от них и значения углов крестовины по формулам:

$$tg\alpha_1 = \frac{x_1}{R_1 - f_1};$$

$$tg\alpha_2 = \frac{x_1 - l}{R_2 - a + f_1}.$$

В частных случаях значения p, q и r в уравнении (II) упрощаются и имеют следующие значения:

1) Если $R_1 = R_2$, то

$$p = 4(2R - a)^2 + 4l^2,$$

$$q = -4(2R - a).(2aR - a^2 - l^2) + 8l^2R,$$

$$r = (2aR - a^2 - l^2)^2,$$

2) Если $l = 0$, то

$$p = 4(R_1 + R_2 - a)^2,$$

$$q = -4a(R_1 + R_2 - a).(2R_2 - a),$$

$$r = a^2(2R_2 - a)^2.$$

3) Если $l = 0$ и $R_1 = R_2$, то

$$p = 4(2R - a)^2,$$

$$q = -4a(2R - a)^2,$$

$$r = a^2(2R - a)^2,$$

и уравнение (II) принимает такой вид:

$$4f_1^2 - 4af_1 + a^2 = 0,$$

откуда $f_1 = \frac{a}{2}$.

5. Стрелочное ответвление двусторонней кривизны, со вставкою переходной кривой.

Для крестовины A, черт. 260, нужно определить x'_1, y_1; x'_2, y_2 и углы α и β; эти последние определяются, как функции x_1 и R_1 для угла α, и как функции x_2 и R_2 для угла β, а именно:

$$tg\alpha = \frac{x_1}{R_1 - f_1}; \quad tg\beta = \frac{x_2}{R_2 - f_2};$$

Для определения x_1, x_2, f_1 и f_2, по аналогии с предшествующим случаем имеем следующие уравнения:

1) $f_1 + f_2 = a - (b_1 + b_2)$,

где b_1 и b_2 определяются из уравнений переходной кривой:

$$b_1 = R'_1 - R_1 - (R'_1 - R'_2)\,Cos\,\alpha_1 - (R'_2 - R'_3)\,Cos\,\alpha_2 - (R'_3 - R_1)\,Cos\,\alpha_3$$

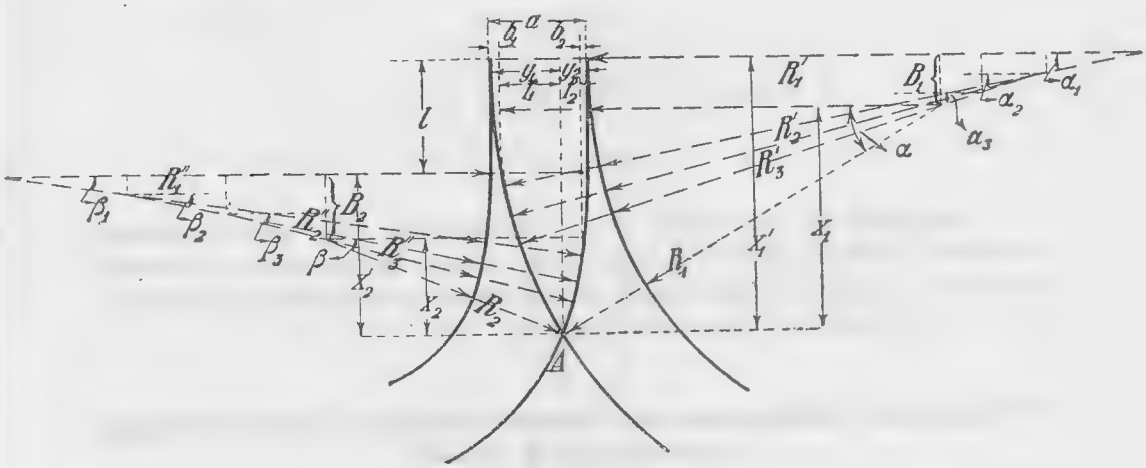
$$b_2 = R''_1 - R_2 - (R''_1 - R''_2)\,Cos\,\beta_1 - (R''_2 - R''_3)\,Cos\,\beta_2 - (R''_3 - R_2)\,Cos\,\beta_3$$

2) $x^2_1 = 2R_1 f_1 - f_1^2$

3) $x^2_2 = 2R_2 f_2 - f_2^2$

$$x_1 + B_1 - (x_2 + B_2) = l$$

4) $x_1 - x_2 = l + B_2 - B_1$



Черт. 260.

Ответвление с переходной кривой.

Таким образом, имеем уравнения аналогичные уравнениям предшествующего случая, но с той разницей, что вместо „a" нужно взять величину $a - (b_1 + b_2)$ и вместо l — величину $l - (B_1 - B_2)$, где

$$B_1 = (R'_1 - R'_2)\,Sin\,\alpha_1 + (R'_2 - R'_3)\,Sin\,\alpha_2 + (R'_3 - R_1)\,Sin\,\alpha_3$$

$$B_2 = (R''_1 - R''_2)\,Sin\,\beta_1 + (R''_2 - R''_3)\,Sin\,\beta_2 + (R''_3 - R_2)\,Sin\,\beta_3.$$

В зависимости от этого значения коэффициентов в уравнении:

$$pf_1^2 + qf_1 + r = 0$$

будут иметь такие значения:

$$p = 4\,[R_1 + R_2 - (a - b_1 - b_2)]^2 + 4(l - B_1 + B_2)^2$$

$$q = -4\,[R_1 + R_2 - (a - b_1 - b_2)] \times [2R_2\,(a - b_1 - b_2) -$$

$$- (a - b_1 - b_2)^2 - (l - R_1 + B_2)^2] + 8R_1\,(l - B_1 + B_2)^2$$

$$r = [(l - B_1 + B_2) + (a - b_1 - b_2)^2 - 2R_2\,(a - b_1 - b_2)]^2.$$

Определив по вышеприведенным уравнениям величины f_1; f_2; x_1 и x_2, легко получить величины углов α и β и x'_1, x'_2 и y_1, y_2 по уравнениям:

$$x'_1 = x_1 + B_1$$

$$x'_2 = x_2 + B_2$$

$$y_1 = f_1 + b_1$$

$$y_2 = f_2 + b_2$$

$$tg\alpha = \frac{x_1}{R_1 - f_1}$$

$$tg\beta = \frac{x_2}{R_2 - f_2}$$

Как видно из вышеприведенного, вычисления получаются довольно сложные, и потому во избежание грубых ошибок рекомендуется проверять величины координат, полученных вычислением, графическим промером их по точному чертежу в масштабе 1/100 или 1/50.

6. Стрелочное ответвление двусторонней кривизны с прямой вставкой без переходной кривой.

На чертеже 261 представлена схема ответвления для внутренних рельсов, пересекающихся в точке A.

Кривая радиуса R_2, в точке C переходит в прямую CA, составляющую с прямым рельсом угол φ.

Кривая радиуса R_1 очерчена по кругу на всем своем протяжении.

Даны: Радиусы R_1 и R_2

Расстояние между началами кривых l.

Угол φ.

Ширина междопутия S.

Из чертежа имеем:

1) ΔO_1O_2B:

$$O_2B = l;\ O_1B = R_1 - S + R_2$$

$$O_1O_2 = \sqrt{l^2 + (R_1 - S + R_2)^2};\ tg\beta = \frac{l}{R_1 - S + R_2}$$

2) ΔO_1O_2C:

$$O_1C = \sqrt{O_1O^2{}_2 + R^2{}_2 - 2 \,.\, O_1O_2 \,.\, R_2 Cos\gamma}$$

$$\gamma = \varphi - \beta; \;\; Sin\,\delta = \frac{O_1O_2\,Sin\,\gamma}{O_1C}$$

3) ΔO_1CA:

$$\lambda = 270^\circ - \delta; \;\; Sin\,\alpha = \frac{O_1C.\,Sin.\lambda}{R_1};$$

$$CA = \frac{R_1 Sin\,\tau}{Sin\,\lambda};$$

$$\tau = 180^\circ - \alpha - \lambda;$$

4) ΔCAO_2:

$$AO_2 = \sqrt{CA^2 + CO^2{}_2}$$

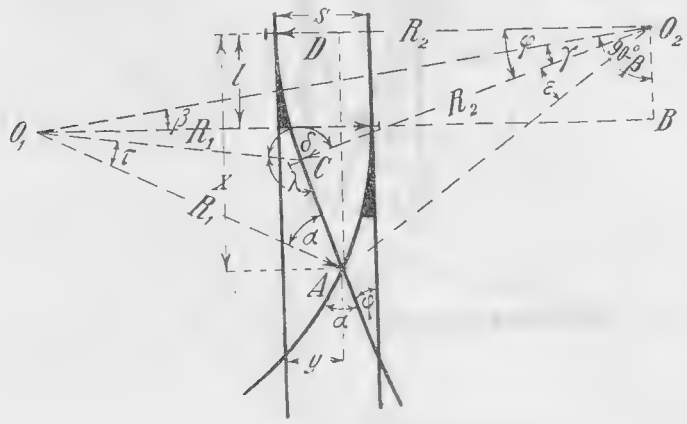
$$tg\varepsilon = \frac{CA}{R_2}$$

5) ΔADO_2:

$$x = AD = AO_2 Sin\,(\varphi + \varepsilon)$$

$$y = R_2 - O_2D = R_2 - AO_2 Cos\,(\varphi + \varepsilon)$$

Угол крестовина $A = 90^\circ - \alpha$.



Черт. 261.

Стр. ответвление двусторонней кривизны с прямой вставкой.

7. Стрелочное ответвление двусторонней кривизны с прямой вставкой с переходной кривой.

На черт 262 представлена схема ответвления, отличающаяся от предыдущего случая тем, что кривые разбиты с переходными кривыми с начальными радиусами R'_1 и R'_2.

Даны: R'_1; R_1; R^1_2; R_2; l; s и φ;

ξ_1; ψ_1; ξ_2; ψ_2.

Чертеж дает:

1) ΔO_1O_2B:

$$O_1B = \psi_1 - S + \psi_2$$

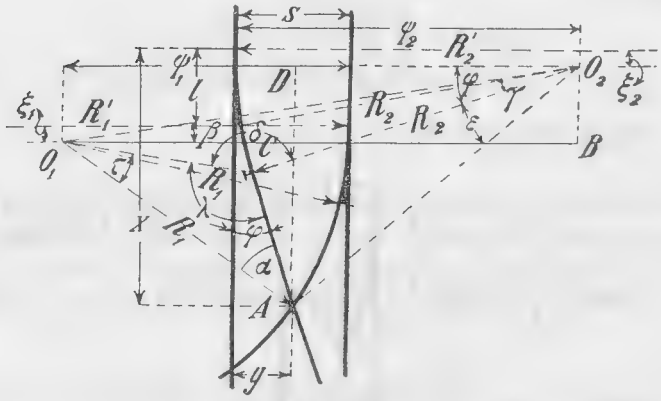
$$O_2B = l + \xi_1 - \xi_2$$

$$O_1O_2 = \sqrt{\overline{O_1B}^2 + \overline{O_2B}^2};\ tg\beta = \frac{O_2B}{O_1B}$$

2) ΔO_1O_2C:

$$O_1C = \sqrt{\overline{O_1O}^2_2 + R^2_2 - 2O_1O_2 \,.\, R_2 \,Cos\,\gamma};$$

$$\gamma = \varphi - \beta$$



Черт. 262.

Стр. ответвление двусторонней кривизны с переходной кривой.

$$Sin\,\delta = \frac{O_1O_2 Sin\,\gamma}{O_1C}$$

3) ΔO_1CA:

$$\lambda = 270^\circ - \delta$$

$$Sin\,\alpha = \frac{O_1C \,.\, Sin\lambda}{R_1}$$

$$\tau = 180^\circ - \lambda - \alpha$$

$$CA = \frac{R_1 Sin\,\tau}{Sin\,\lambda}$$

4) ΔCAO_2:

$$tg\varepsilon = \frac{CA}{R_2}$$

$$AO_2 = \sqrt{R^2_2 + CA^2}$$

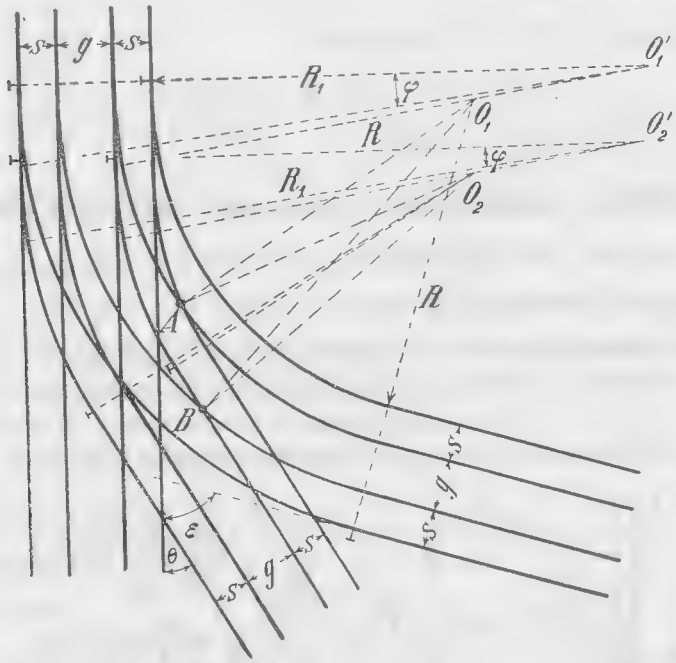
5) ΔADO_2:

$$x = \xi_2 + AD = \xi_2 + AO_2 Sin\,(\varphi + \varepsilon)$$

$$y = \psi_2 - O_2D = \psi_2 - AO_2 Cos\,(\varphi + \varepsilon)$$

Величины ξ_1, ξ_2, ψ_1 и ψ_2 определяются из уравнений переходной кривой.

Угол крестовины $A = 90° - \alpha$.



Черт. 263.

Двойное одностороннее ответвление.

Из данного общего случая можно вывести, как частные, вышеприведенные случаи 5 и 4, а именно:

Если принять, что прямая вставка $CA = O$, то получим случай 5 и тогда $O_2A = R_2$;

Угол $\gamma = \angle\, O_1O_2A$ определится из ΔO_1O_2A, в котором будут известны три стороны:

$$Cos\,\gamma = \frac{O_1O^2_2 + R^2_2 - R^2_1}{2 \times O_1O_2 \times R_2}, \text{ далее:}$$

Угол $(\varphi + \varepsilon) = \angle DO_2A = \gamma + \beta$

Угол O_1AO_2 определится из выражения:

$$Sin \angle O_1AO_2 = Sin\,\gamma \frac{O_1O_2}{R_1}$$

6) Угол крестовины $A = 180^\circ - \angle O_1AO_2$.

7) $x = \xi_2 + R_2\,Sin(\gamma + \beta)$.

8) $y = \psi_2 - R_2\,Cos(\gamma + \beta)$.

Если $\xi_2 = O$; $\psi_1 = R_1$; $\xi_2 = O$; $\psi_2 = R_2$, то получим случай 4 и выражения для координат крестовины A получат вид:

9) $x = R_2\,Sin(\gamma + \beta)$.

10) $y = R_2[1 - Cos(\gamma + \beta)]$, причем

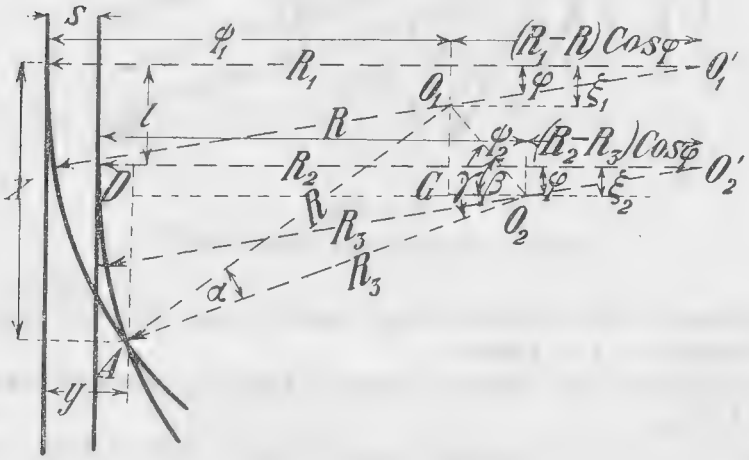
$$O_1B = R_1 - s + R_2 \text{ и } O_2B = l.$$

8. Двойное одностороннее ответвление двупутной линии.

На черт. 263 представлена схема этого ответвления.

Рассчитаем элементы крестовин A и B.

Даны: радиусы стрелок R_1 и соединительных кривых R;
кривые и стрелки трассированы концентрически;
углы — Θ и ε; ширина колеи и междопутия — S и g;
длина стрелки — l; угол соответствующий стрелке — φ.



Черт. 264.

Определение элементов крестовины А.

Определение элементов крестовины A (черт. 264).

Даны: радиусы стрелок R_2 и $R_1 = R_2 + S$, где S — ширина колеи;
радиусы кривых R_3 и R;
длина стрелки l и
угол поворота φ.

Нужно определить координаты математического острия крестовины и y и угол крестовины α.

Из чертежа 264 имеем:

1) ΔO_1O_2C:

$$O_1O_2 = \sqrt{O_1C^2 + O_2C^2} = \sqrt{(l + \xi_2 - \xi_1)^2 + (\psi_2 + S - \psi_1)^2}$$

$$tg\beta = \frac{O_1C}{O_2C} = \frac{l + \xi_2 - \xi_1}{\psi_2 + S - \psi_1}$$

2) ΔAO_1O_2:

$$Cos\,\gamma = \frac{\overline{O_1O_2}^2 + R^2{}_3 - R^2}{2 \,.\, O_2O_1 \;\; R_3} = \frac{(l + \xi_2 - \xi_1)^2 + (\psi_2 + S - \psi_1)^2 + R^2{}_3 - R^2}{2\sqrt{(l + \xi_2 - \xi_1)^2 + (\psi_2 + S - \psi_1)^2} \,.\, R_3}$$

$$Sin\,\alpha = \frac{O_1O_2\, Sin\,\gamma}{R}$$

$$x = l + \xi_2 + AD = l + \xi^2{}_2 + R_3\, Sin\,(\gamma - \beta)$$

$$y = \psi_2 - S - O_2D = \psi_2 + S - R_3\, Cos\,(\gamma - \beta)$$

Величины ξ_1, ξ_2, ψ_1 и ψ_2 определяются из уравнений переходной кривой (смотри главу VI, о кривых).

Определение элементов крестовины B.

Из чертежа № 265 имеем:

Даны: R_1, R_2; φ; l; g.

1) ΔO_1O_2C

$$O_1C = l + \xi_2 - \xi_1$$

$$O_2C = \psi_2 + g - \psi_1$$

$$O_1O_2 = \sqrt{\overline{O_1C}^2 + \overline{O_2C}^2}$$

$$tg\beta = \frac{O_1C}{O_2C}$$

2) ΔO_1O_2D:

$$\angle\, O_1O_2D = \beta + \varphi$$

$$O_1D = \sqrt{\overline{O_1O_2}^2 + R^2{}_2 - 2O_1O_2 \,.\, R_2\, Cos\,(\beta + \varphi)}$$

$$Sin\,\gamma = Sin\,(\beta + \varphi)\,\frac{O_1O_2}{O_1D}$$

3) ΔO_1DB:

$$\angle O_1DB = 90^\circ + \gamma$$

$$Sin\,\delta = Sin\,(90^\circ + \gamma)\,\frac{O_1D}{R_1}$$

$$\angle DO_1B = 180^\circ - \delta - (90^\circ + \gamma) = 90^\circ - \delta - \gamma$$

$$DB = R_1\,\frac{Sin(90^\circ - \delta - \gamma)}{Sin\,(90^\circ + \gamma)}$$

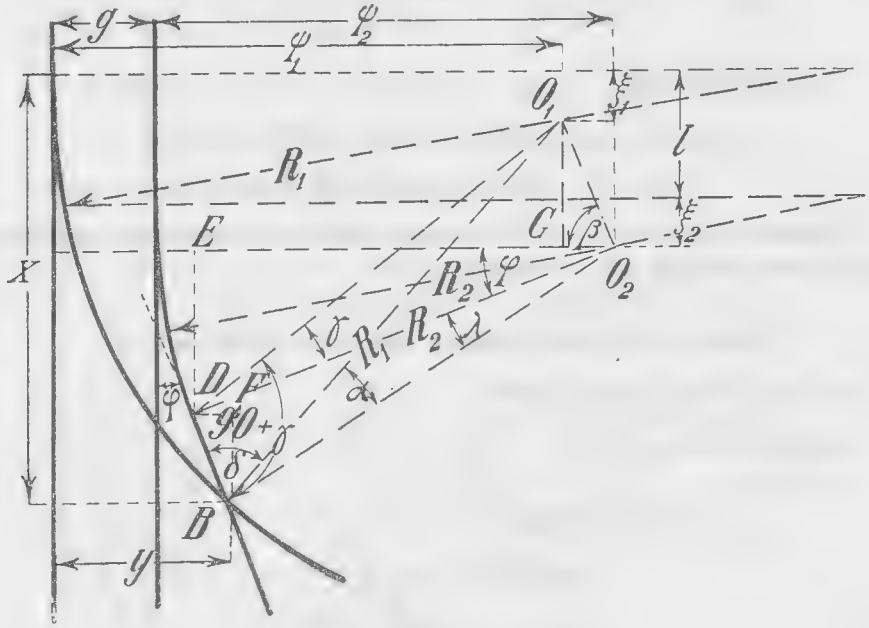
4) ΔEO_2D и ΔDFB:

$$x = l + \xi_2 + ED + FB = l + \xi_2 + R_2\,Sin\,\varphi + DB\,Cos\,\varphi$$

$$y = \psi_2 + g - O_2E + DF = \psi_2 + g - R_2\,Cos\,\varphi + DB\,Sin\,\varphi$$

5) Угол крестовины $B = 90^\circ - \delta$.

Величины ξ_1, ψ_1, ξ_2 и ψ_2 определяются из уравнения переходной кривой.



Черт. 265.

Определение элементов крестовины В.

9. Стрелочное ответвление (перевод) со стрелкой без пересечения рамного рельса и прямой крестовиной.

Даны: радиус стрелки по оси пути R,
угол крестовина α,
ширина колеи S.

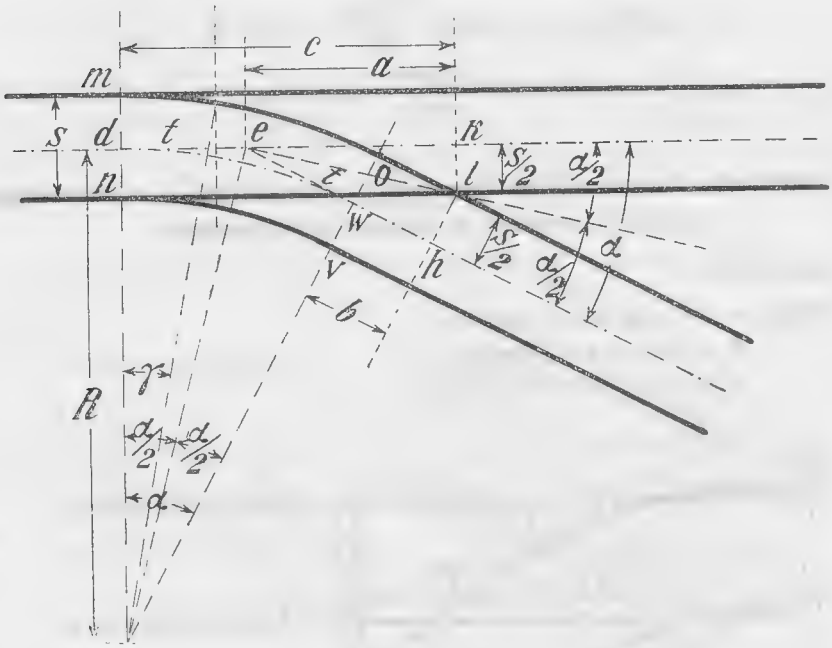
Из чертежа 266 имеем:

$$t = de = Rtg\,\frac{\alpha}{2}\,;\quad a = ek = eh = \frac{S}{2tg\,\frac{\alpha}{2}}.$$

Полная длина перевода от начала кривой „m“ до математического острия крестовины „i“:

$$c = t + a = Rtg\,\frac{\alpha}{2} + \frac{S}{2tg\,\frac{\alpha}{2}}.$$

Прямая вставка $b = eh - ew = a - t;\ b = \frac{S}{2tg\,\frac{\alpha}{2}} - Rtg\,\frac{\alpha}{2}.$



Черт. 266.

Стрелочный перевод со стрелкой без пересечения рамн. рельса.

Длина кривой по наружной нитке:

$$mO = \pi\left(R + \frac{S}{2}\right)\frac{\alpha^\circ}{180^\circ}.$$

Длина кривой по внутренней нитке:

$$nv = \pi\left(R - \frac{S}{2}\right)\frac{\alpha^\circ}{180^\circ}.$$

Пример: $S = 1524$ мм.

$R = 30{,}762$ м.

$\alpha = 9^\circ\, 27'44''$.

$tg\,\alpha = {}^1/_6$.

Тогда получим: $t = R\,tg\,\frac{\alpha}{2} = 30{,}762 \,.\, tg\, 4^\circ 43'52'' = 2{,}547$ м.

$$a = \frac{S}{2\,tg\,\frac{\alpha}{2}} = \frac{1{,}524}{2\,tg\,40^\circ 43'52''} = 8{,}72 \text{ м.}$$

$$b = \frac{S}{2\,tg\,\frac{\alpha}{2}} - R\,tg\,\frac{\alpha}{2} = 8{,}72 - 2{,}55 = 6{,}17 \text{ м.}$$

$$c = a + t = 8{,}72 + 2{,}55 = 11{,}27 \text{ м.}$$

$$mO = 3{,}14 \,.\, 31{,}524\,\frac{9^\circ 27'44''}{180^\circ} = 5{,}18 \text{ м.}$$

$$nv = 3{,}14 \,.\, 30\,\frac{9^\circ 27'44''}{180^\circ} = 4{,}95 \text{ м.}$$

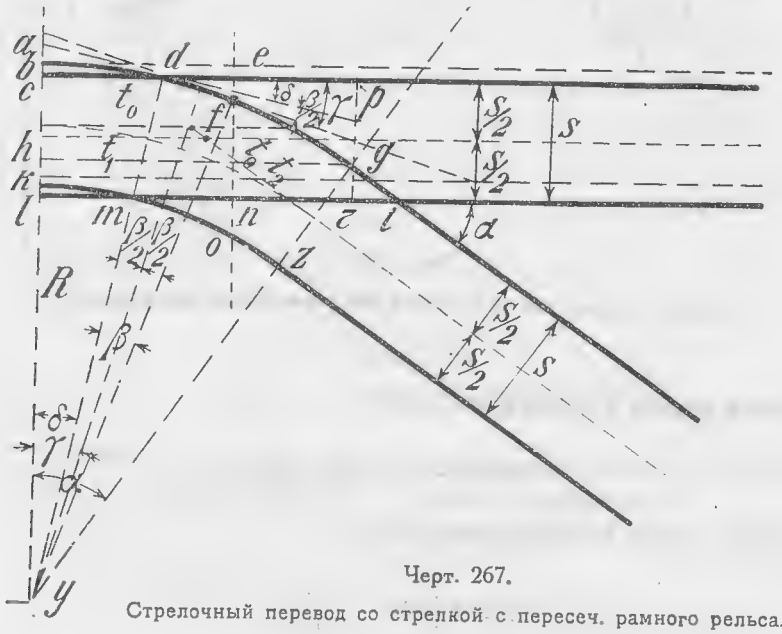
10. Стрелочное ответвление (перевод) со стрелкой с пересечением рамного рельса и прямой крестовиной.

Чертеж 267.

Точки: c и l — начало перевода

d и m — острие пера

ef и no — корень стрелки



Черт. 267.

Стрелочный перевод со стрелкой с пересеч. рамного рельса.

R — радиус стрелки и переводной кривой по оси пути

S — ширина колеи

α — угол крестовины

df — расстояние от острия до корня пера (длина пера).

Имеем: $de = \sqrt{df^2 - ef^2}$, где df считаем прямою с достаточной точностью для расчета.

$$arc\,\beta = 180^\circ \frac{df}{\left(R + \frac{s}{2}\right)\pi}; \quad Sin\,\gamma = \frac{ef}{df}; \quad \delta = \gamma - \beta;$$

$$cd = \left(R + \frac{s}{2}\right) Sin\,\delta; \quad bc = \frac{cd^2}{2\left(R + \frac{s}{2}\right)} \quad \text{(с достаточной точностью)}$$

$$lm = \left(R - \frac{s}{2}\right) Sin\,\delta.$$

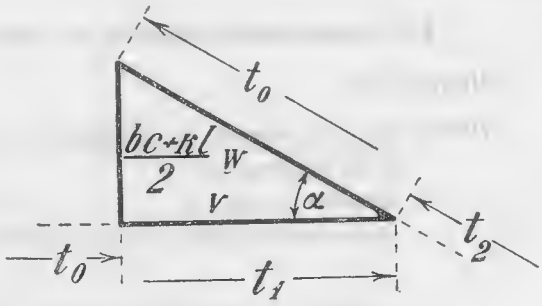
$$kl = \frac{lm^2}{2\left(R - \frac{s}{2}\right)}; \quad mn = cd + de - lm; \quad no = \frac{ln^2}{2\left(R - \frac{s}{2}\right)} - kl;$$

$$gh = \left(R + \frac{s}{2}\right) Sin\,\alpha; \quad hy = \frac{gh}{tg\,\alpha}; \quad hc = \left(R + \frac{s}{2}\right) - (hy + bc);$$

$$gr = S - hc; \quad gi = \frac{gr}{Sin\,\alpha}$$

$$\smile dg = \frac{(\alpha - \delta)}{180^\circ} \pi \left(R + \frac{s}{2}\right)$$

$$\smile mz = \frac{\alpha - \delta}{180^\circ} \left(R - \frac{s}{2}\right)$$



Черт. 268.

Влияние пересечения на величину тангенсов.

$$t_0 = R\,tg\,\frac{\alpha}{2}; \quad t_1 = t_0 + v = t_0 + \frac{bc + kl}{2\,tg\,\alpha} \quad \text{(смотри черт. 268).}$$

$$t_2 = t_0 - w = t_0 - \frac{bc + kl}{2\,Sin\,\alpha}$$

Полная длина перевода: $li = gh + ri = \left(R + \frac{s}{2}\right) Sin\,\alpha + gi\,Cos\,\alpha$

Определение длины перевода от острия пера в точке d до острия крестовины в точке i может быть дано в общем виде в следующих выражениях, принимая обозначения по чертежу 267:

1) Длина пера $df = \pi\left(R + \frac{s}{2}\right)\frac{\beta}{180^\circ}$.

2) Расстояние в корне

$$ef = \left(R + \frac{s}{2}\right) Cos\,\delta - \left(R + \frac{s}{2}\right) Cos\,(\delta + \beta) =$$

$$= \left(R + \frac{s}{2}\right) [Cos\,\delta - Cos\,(\delta + \beta)] = \left(R + \frac{s}{2}\right) \times 2\,Sin\,\frac{2\delta + \beta}{2}\,Sin\,\frac{\beta}{2}.$$

3) $S = ef + \left(R + \frac{s}{2}\right) Cos\,(\delta + \beta) - \left(R + \frac{s}{2}\right) Cos\,\alpha + gi\,Sin\,\alpha.$

4) Длина перевода

$$li - cd = \left(R + \frac{s}{2}\right) Sin\,\alpha - \left(R + \frac{s}{2}\right) Sin\,\delta + gi\,Cos\,\alpha.$$

5) $bc = \left(R + \frac{s}{2}\right)(1 - Cos\,\delta).$

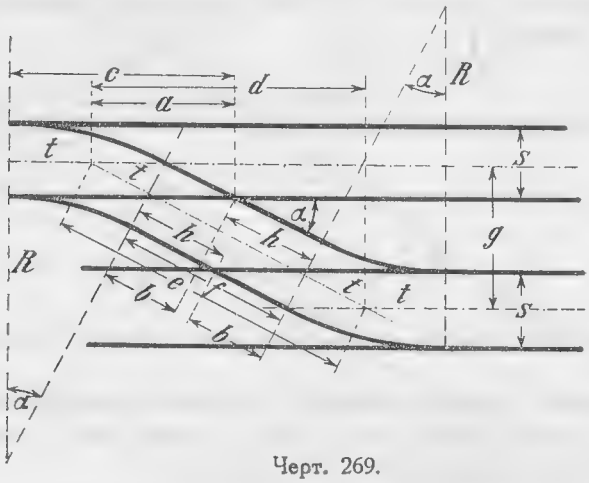
6) $cd = \left(R + \frac{s}{2}\right) Sin\,\delta.$

Обычно эти выражения применяются для расчета нормальных железнодорожных переводов, при чем задаются величиной радиуса R, углом крестовины α и длиной кривого пера $l = de$ и определяют остальные элементы.

11. Стрелочный переход со стрелками без пересечения.

Чертеж 269.

Даны: радиус стрелки и переводной кривой по оси пути R,
угол крестовины α,
ширина колеи S,
расстояние между осями путей g.



Черт. 269.

Стрелочный переход со стрелкой без пересечения рамного рельса.

Имеем: $d = \frac{g}{tg\,\alpha}$; $e = \frac{g}{Sin\,\alpha}$; $f = e - 2t$, где $t = R\,tg\,\frac{\alpha}{2}$

Полная длина перевода:

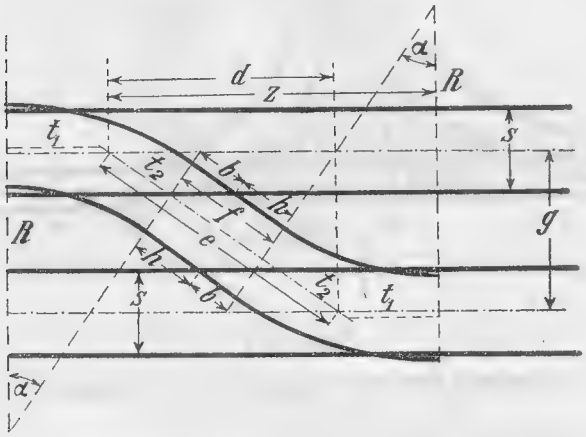
$$d + 2t = \frac{g}{tg\,\alpha} + 2R\,tg\,\frac{\alpha}{2}; \quad h = f - b.$$

Величины a, c, b определяются из эпюры перевода.

12. Стрелочный переход со стрелками с пересечением.

Чертеж 270.

Даны: радиус стрелки и переводной кривой по оси пути R,
угол крестовины α,
ширина колеи S,
расстояние между осями путей g.



Черт. 270.

Стрелочный переход со стрелкой с пересечением рамного рельса.

Имеем: $d = \frac{g}{tg\,\alpha}$; $e = \frac{g}{Sin\,\alpha}$; $f = e - 2t_2$; $h = f - b$.

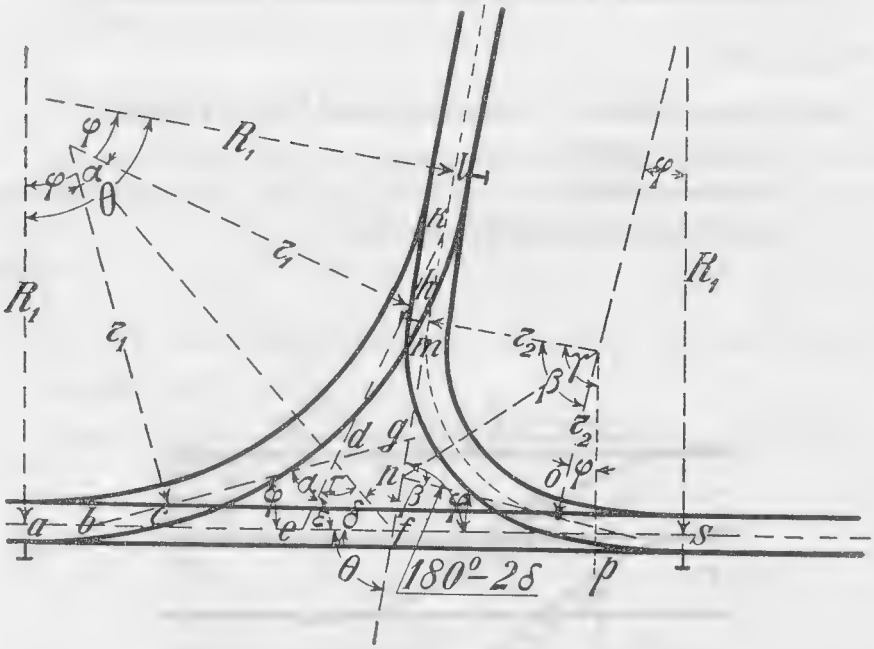
Полная длина перевода: $Z = d + 2t_1$.

Величины t_1, t_2 и определяются из эпюры перехода.

13. Соединение двух одиночных путей двусторонним ответвлением.

Чертеж 271.

Даны: радиус стрелки R_1,
угол поворота φ,
радиус кривой r_1,
угол пересечения путей Θ,
расстояние $lm = t$ (от начала стрелки до начала кривой радиуса r_2).



Черт. 271.

Соединение двух путей двусторонним ответвлением.

Нужно определить: радиус кривой r_2 и тангенсы:

$$T_1 = af = fl; \quad T_2 = fs \text{ и } T_3 = mf.$$

Имеем:

(I) $T_1 = af = fl = ab + bf;\ bf = be + ef;\ be = bd \dfrac{Sin\,\alpha}{Sin\,(180 - \alpha - \varphi)}$

$bd = bc + cd;\ bc = R_1\, tg\,\dfrac{\varphi}{2} = ab;\ cd = r_1\, tg\,\dfrac{\alpha}{2}$

$\alpha = \Theta - 2\varphi;\ ef = ed\dfrac{Sin\,\tau}{Sin\,\delta};\ \delta = 90^\circ - \dfrac{\Theta}{2};\ \tau = 90^\circ - \dfrac{\alpha}{2}$

$ed = be\dfrac{Sin\,\varphi}{Sin\,\alpha};$

подставляя найденные величины в ур-ние (I), получим:

$$T_1 = R_1\, tg\frac{\varphi}{2} + \left(R_1\, tg\frac{\varphi}{2} + r_1\, tg\frac{\alpha}{2}\right)\frac{Sin\,\alpha.\ Sin\,\delta + Sin\,\varphi.\ Sin\,\tau}{Sin\,(\alpha+\varphi).\ Sin\,\delta},$$

где $\alpha = \Theta - 2\varphi$.

Далее, для определения радиуса r_2 имеем:

$$\gamma = 180^\circ - \Theta;\ \beta = \gamma - \varphi = 180^\circ - (\Theta + \varphi);$$

$$r_2 = \frac{mn}{tg\frac{\beta}{2}} = \frac{mn}{tg\frac{\Theta+\varphi}{2}};$$

$$mn = fl - lm - nf = T_1 - t - nf;$$

$$nf = np\frac{Sin\,\varphi}{Sin(180-2\delta)} = np\frac{Sin\,\varphi}{Sin\,\Theta};$$

$$np = no + op = mn + op;\ op = R_1\, tg\frac{\varphi}{2}$$

Отсюда: $mn = T_1 - t - \left(mn + R_1\, tg\frac{\varphi}{2}\right)\frac{Sin\,\varphi}{Sin\,\Theta}$ или

$$mn = \frac{T_1 - t - R_1\, tg\frac{\varphi}{2}\cdot\frac{Sin\,\varphi}{Sin\,\Theta}}{1 + \frac{Sin\,\varphi}{Sin\,\Theta}}$$

и

$$r_2 = \frac{T_1 - t - R_1\, tg\frac{\varphi}{2}\cdot\frac{Sin\,\varphi}{Sin\,\Theta}}{\left(1 + \frac{Sin\,\varphi}{Sin\,\Theta}\right)tg\frac{\Theta+\varphi}{2}}$$

Тангенс $T_3 = mn = T_1 - t - \left(mn + R_1\, tg\frac{\varphi}{2}\right)\frac{Sin\,\varphi}{Sin\,\Theta}$

$$T_2 = fs = ps + pf = R_1\, tg\frac{\varphi}{2} + pf;$$

$$pf = np\frac{Sin\,\beta}{Sin\,2\delta} = np\frac{Sin\,(\varphi+\Theta)}{Sin\,\Theta}$$

и

$$T_2 = R_1\, tg\frac{\varphi}{2} + \left(mn + R_1\, tg\frac{\varphi}{2}\right)\frac{Sin\,(\Theta+\varphi)}{Sin\,\Theta}.$$

14. Соединение двусторонним ответвлением прямого и кривого одноколейного пути.

Чертеж 272.

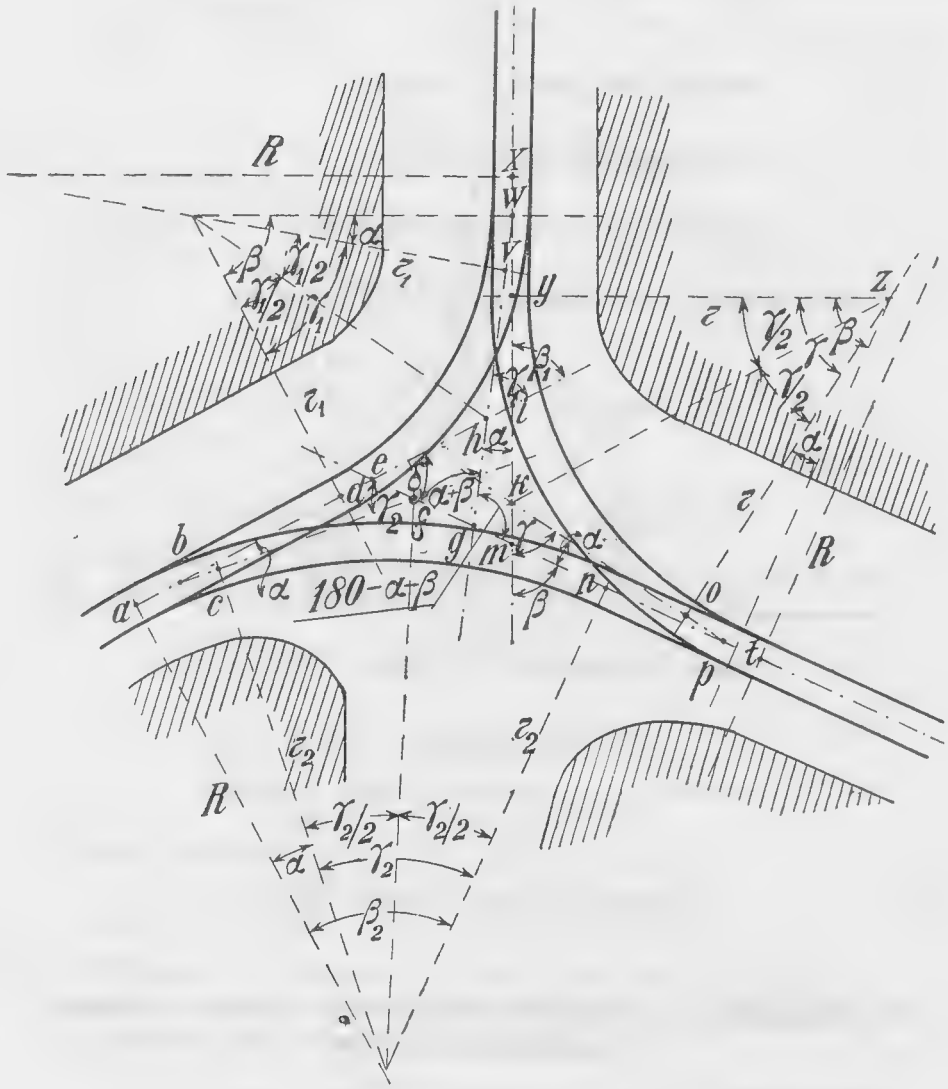
Даны: угол α, радиус стрелок R,
углы β и β_1, радиус r и величины im, ei, em.

Из чертежа имеем:

$$\gamma = \beta - \alpha; \quad ko = ky = r\,tg\,\frac{\gamma}{2}; \quad op = R\,tg\,\frac{\alpha}{2};$$

из $\Delta\ kmp$, в котором $kp = ko + op$ и известны 3 угла, имеем:

$$km = \frac{kp\,Sin\,\alpha}{Sin\,\beta}; \quad mp = \frac{kp\,Sin\,\gamma}{Sin\,\beta};$$



Черт. 272.

Соединение прямого и кривого пути двусторонним ответвлением.

Далее:

$$mw = km + ky + wy, \text{ где } wy = wv + 1 \text{ м.};$$

из $\Delta\, g\, mw$:

$$gm = \frac{mw\, Sin\, \alpha}{Sin\,(180^\circ - \alpha - \beta)}; \quad gw = \frac{mw\, Sin\, \beta}{Sin\,(180^\circ - \alpha - \beta)};$$

из $\Delta\, hiw$, в котором сторона iw и угол γ, определяются:

$$iw = mw - im; \quad \gamma_1 = \beta_1 - \alpha,$$

имеем:

$$hi = \frac{iw\, Sin\, \alpha}{Sin\, \gamma_1}; \quad hw = \frac{iw\, Sin\, \beta_1}{Sin\, \gamma_1}.$$

Тангенсы кривой радиуса r_1 определяются:

$$hv = hd = hw - vw = hw - wx, \text{ где } wx = R\, tg\, \frac{\alpha}{2};$$

$$r_1 = \frac{hv}{tg\, \frac{\gamma_1}{2}} = \frac{dh}{tg\, \frac{\gamma_1}{2}}.$$

В $\Delta\, egh$ имеем $gh = gw - hw$, где gw и hw определены раньше, угол $\delta = 180^\circ - (\alpha + \beta + \gamma_1)$, тогда получим:

$$eh = \frac{gh\, Sin\,(\alpha + \beta)}{Sin\, \delta}; \quad eg = \frac{gh\, Sin\, \gamma_1}{Sin\, \delta}.$$

Прямую ab принимаем на 1 м. больше длины пера ac; bd известна.

В $\Delta\, bef$: $be = dh + bd - eh$; угол $\gamma_2 = \beta_2 - \alpha = \delta - \alpha$, т. к. $\delta = \beta_2$; тогда:

$$ef = \frac{be\, Sin\, \alpha}{Sin\, \gamma_2}$$

$$bf = \frac{be\, Sin\, \delta}{Sin\, \gamma_2}$$

Тангенсы кривой радиуса r_2:

$$cf = fn = bf - bc, \text{ где } bc = R\, tg\, \frac{d}{2}$$

$$\text{радиус } r_2 = \frac{ef}{tg\, \frac{\gamma_2}{2}} = \frac{fn}{tg\, \frac{\gamma_2}{2}};$$

$$fg = eg - ef.$$

Прямая $np = mp + gm + fg - fn$.

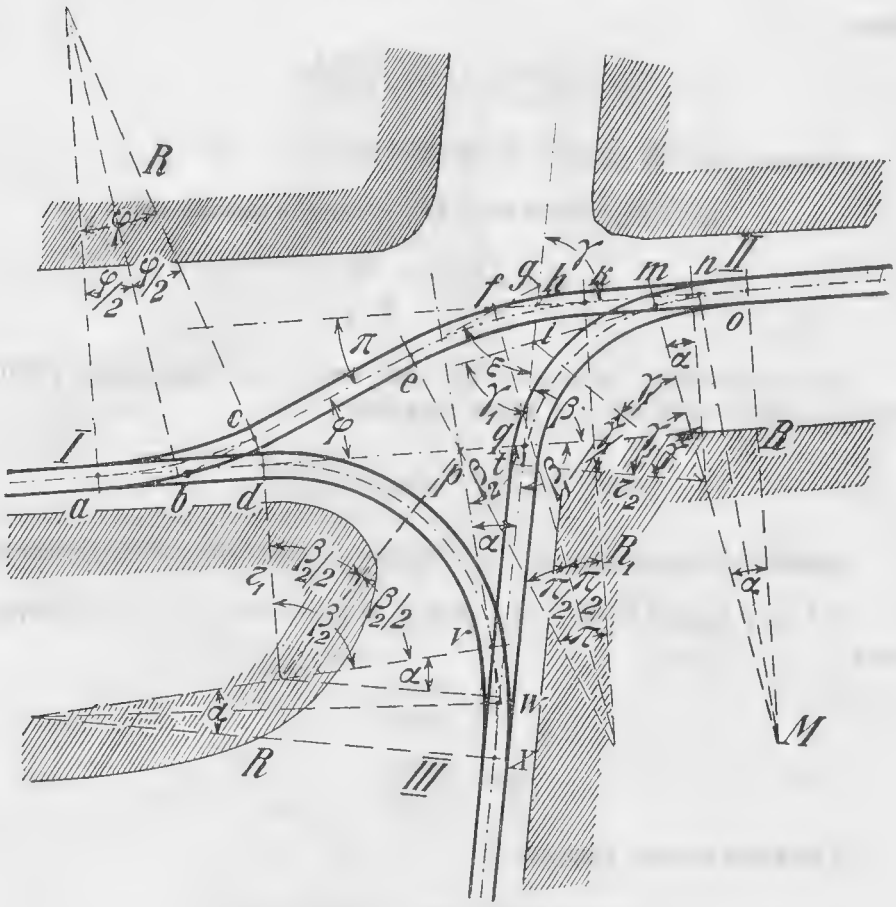
15. Соединение двусторонним ответвлением двух одноколейных путей (частный случай).

Чертеж 273.

Данные:

Углы β и γ и расстояние hq

Задаемся стрелкой: угол α, радиус R и длина пера.



Черт. 273.

Частный случай соединения двух путей.

Тангенсы: xw, vw, nm и no являются $f(\alpha, R)$; $mn = R\,tg\frac{\alpha}{2}$

Задаемся радиусом r_1 такой величины, чтобы не подойти близко к тротуару.

Из чертежа имеем:

$$dp = pv = r_1 \, tg \frac{\beta_2}{2}$$

$$\beta_2 = 180^\circ - \beta - \alpha.$$

В Δ pqw сторона $pw = pv + vw$ известна, тогда имеем:

$$qw = \frac{pw \, Sin \, \beta_2}{Sin \, \beta}$$

$$pq = \frac{pw \, Sin \, \alpha}{Sin \, \beta}$$

$$dq = dp + pq$$

$$tx = hq + qw + wx - (hi + it),$$

Далее имеем:

$$im = it = r_2 \, tg \frac{\gamma_1}{2},$$

где:

$$\gamma_1 = \gamma - \alpha,$$

И радиус r_2 взят такой величины, чтобы не подойти к тротуару.

Далее $in = im + mn$ и тогда из $\Delta \, hin$

имеем:

$$hi = \frac{in \, Sin \, \alpha}{Sin \, \gamma}$$

$$hn = \frac{in \, Sin \, \gamma_1}{Sin \, \gamma}$$

Для расчета соединительного пути между стрелками I и II необходимо задаться величиной bd и углом φ или ε.

Угол φ следует взять насколько можно меньше, чтобы не получить кривой малого радиуса на соединительном пути, но, конечно, это зависит главным образом от расположения улиц. Задавшись углом φ и величиной bd, мы имеем определенный Δ bgq, из которого получим:

$$bq = bd + dq$$

$$bg = \frac{bq \, Sin \, (180^\circ - \beta)}{Sin \, \varepsilon} = \frac{bg \, Sin \, \beta}{Sin \, \varepsilon}$$

$$gq = \frac{bg \, Sin \, \varphi}{Sin \, \varepsilon},$$

угол $\varepsilon = \beta - \varphi$.

Из Δfgh, в котором угол $\pi = \gamma - \varepsilon$ и сторона $gh = gq - hq$, имеем:

$$fg = \frac{gh \, Sin \, \gamma}{Sin \, \pi}$$

$$fh = \frac{gh \, Sin \, \gamma - \pi}{Sin \, \pi}$$

Угол π есть центральный угол для кривой радиуса R_1, причем этот последний следует взять насколько возможно большей величины, лишь бы тангенс не захватил крестовину стрелки II.

Тангенс этот: $ef = fk = R_1 \, tg \frac{\pi}{2}$.

Прямая $KO = hn + no + fh - fk$.

Если стрелки спроектированы без пересечения рамного рельса, то тангенсы:

$$ab = bc = R \, tg \frac{\varphi}{2}.$$

Если перо стрелки спроектировано с пересечением рамного рельса, то ab не равно bc, и нужно внести поправку.

Прямая $ce = bg - (bc + ef + fg)$

и

$$ad = ab + bd.$$

16. Стрелочная улица с углом наклона равным углу крестовин.

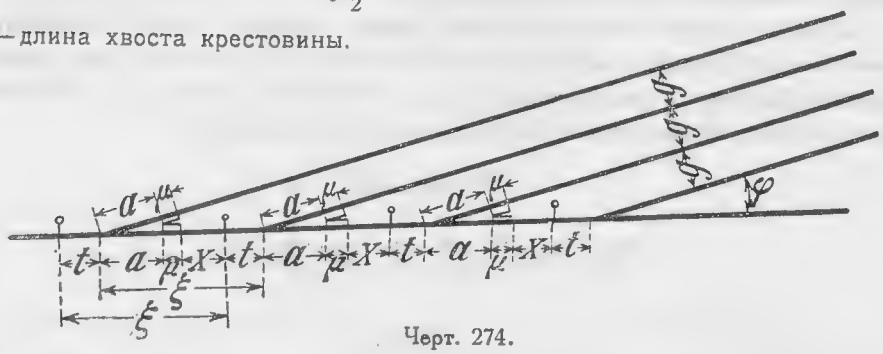
(см. черт. 274).

Из эпюры перевода имеем:

$$t = R \, tg \frac{\varphi}{2},$$

$$a = \frac{S}{2 \, tg \frac{\varphi}{2}}, \text{ где } s \text{ — ширина колеи,}$$

μ — длина хвоста крестовины.



Черт. 274.

Стрелочная улица с углом наклона равным углу крестовины.

Из чертежа имеем:

$\xi = \frac{g}{tg\,\varphi}$; где g — расстояние между осями путей стрелочной улицы.

Положим имеем: $g = 3800$ мм.; $s = 1524$ мм.; $R = 29{,}238$ м. $\varphi = 14^{\circ}34'$;

Стрелочный перевод возьмем по эпюре № 3.

$$t = 3{,}989$$

$$a = 5{,}962$$

$$\mu = 1{,}400$$

$$\xi = \frac{3800}{tg\ 14^{\circ}34'} = 14{,}615$$

$$x = \xi - a - \mu - t = 14{,}615 - 11{,}351 = 3{,}264 \text{ м.}$$

17. Стрелочная улица с углом наклона большим угла крестовины.

(Чертеж № 275).

Из эпюры перевода имеем:

$$t = R\,tg\,\frac{\varphi}{2}$$

$$a = \frac{S}{2\,tg\,\frac{\varphi}{2}}$$

μ — длина хвостовой части крестовины.

Из чертежа имеем:

$$\eta = \frac{g + g_1 + g}{Sin\,\alpha}$$

$$t_1 = R\,tg\,\frac{\alpha - 2\varphi}{2}$$

$$z = (t + t_1)\,Cos\,(\alpha - \varphi)$$

$$\xi = (t + t_1)\,Sin\,(\alpha - \varphi)$$

$$\psi = (a + \mu + t_1)\,Sin\,\varphi$$

$$y = (\xi + \psi)\,Ctg\,\alpha$$

$$x = (a + \mu + t_1)\,Cos\,\varphi - (a + \mu)$$

$$T = (a + \mu + t_1)\,Cos\,\varphi + z - y.$$

Положим:

$t = 4{,}00$ м.

$a = 6{,}20$ м.

$\mu = 1{,}40$ м.

$R = 30{,}00$ м.

$\varphi = 14^\circ$

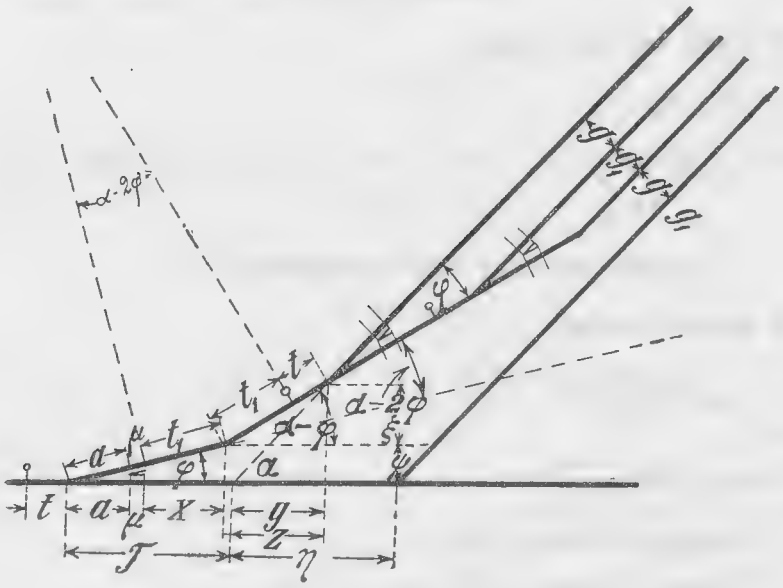
$\alpha = 45^\circ$

$\alpha - \varphi = 31^\circ$

$s = 1{,}524$

$g = 4{,}00$

$g_1 = 3{,}60$



Черт. 275.

Стрелочная улица с углом наклона большим угла крестовины.

Тогда:

$$\eta = \frac{11.6}{Sin\,45^\circ} = 16{,}4$$

$$t_1 = 30\,tg\,8^\circ 30' = 4{,}50$$

$$z = 8{,}5\ Cos\ 31^\circ = 7{,}28$$

$$\xi = 8{,}5\ Sin\ 31^\circ = 4{,}38$$

$$\varphi = 12{,}1\ Sin\ 14^\circ = 2{,}92$$

$$y = 7{,}3\ Co\,tg\ 45^\circ = 7{,}3$$

$$x = 12{,}1\ Cos\ 14^\circ - 7{,}6 = 11{,}24 - 7{,}6 = 3{,}64$$

$$T = 11{,}24 + 7{,}28 - 7{,}3 = 11{,}22.$$

Общие условия проектировки узловых соединений.

По вышеприведенным формулам можно рассчитать геометрические элементы всех встречающихся на практике узлов.

При проектировке узловых соединений необходимо стремиться удовлетворить требованиям плавности прохода подвижного состава и легкости изготовления узлов на заводе и сборке на месте. Плавность прохода подвижного состава в свою очередь требует проектировки соединительных кривых, стрелок и крестовин по кривым больших радиусов и, в случае невозможности их осуществления, вставки переходных кривых.

Легкость изготовления и укладки обусловливается простотой конструкции, применением кривых однообразной кривизны и однотипности стрелок и крестовин. Последнее обстоятельство не только облегчает изготовление узлов, уменьшая количество моделей для отливки стрелок и крестовин, но и значительно упрощает эксплоатационное хозяйство по смене изношенных стрелок и крестовин, сокращая необходимое количество запасных частей.

В виду вышеизложенного при проектировке узлов данной линии необходимо стараться привести их к небольшому количеству типовых узлов и, в частности, при проектировке каждого типового узла применять наиболее простые эпюры с наименьшим количеством типов стрелок и крестовин.

Насколько рациональная проектировка по вышеуказанным принципам сокращает количество типов, видно, между прочим, из проектов I-ой и II-ой очереди Ленинградского трамвая. В I-ой очереди, вследствие новизны дела и отсутствия опыта, количество типов крестовин достигает 700; при проектировке II-ой очереди количество крестовин удалось свести до 200, при большем общем их количестве.

Помимо вышеуказанного необходимо обратить внимание на простоту и совершенство конструкции стрелок, крестовин и на надлежащую ширину желобов кривых рельсов, в зависимости от размеров ходовых частей вагонов.

Рациональная проектировка и применение испытанных конструкций, удовлетворяющих последним требованиям техники, всегда окупится в ко-

нечном итоге, и потому не следует увлекаться дешевизной постройки в ущерб последующей доходности предприятия.

Как пример, иллюстрирующий общий вид эпюры узла, мы приводим схему одного из узлов Ленинградского трамвая, изображенную на черт. 159. Кроме указанных на чертеже элементов, обыкновенно проставляются марки стрелок и крестовин и нумеруются все входящие в узел рельсы.

В отдельных таблицах даются размеры стрелок и крестовин и спецификация рельсов, с указанием их длины.

Для удобства сборки и укладки на каждом стыке рельсы, стрелки и крестовины снабжаются особыми номерами, и отдельные ответвления окрашиваются в особый цвет.

ГЛАВА VIII.

Остановочные пункты, станции и парки.

Мы уже указали выше, что характер движения трамваев и пригородных железных дорог резко отличается от железных дорог магистральных.

В числе особенностей движения мы упомянули: частоту движения, малые поездные единицы, частые остановки.

Для характеристики графика движения приведем картограмму наполняемости вагонов Ленинградского трамвая, черт. 276.

Из картограммы видно, что вагон, выходя из центра города при максимальном наполнении, постепенно теряет пассажиров по мере удаления от центра и прибывает в конечный пункт данного маршрута с минимальным наполнением. Обратно, выходя почти пустым с конечного пункта на окраине и постепенно наполняясь с приближением к центру, он прибывает в центр города с полным количеством пассажиров.

Явление это, всем хорошо известное, остается в силе и для пригородных железных дорог, представляющих собой продолженные за пределы города радиальные линии трамвая.

Как результат указанного явления, при правильной эксплоатации, во избежание непроизводительного пробега пустых поездов, густота движения как на трамваях, так и на пригородных железных дорогах, должна уменьшаться по мере удаления от центра города.

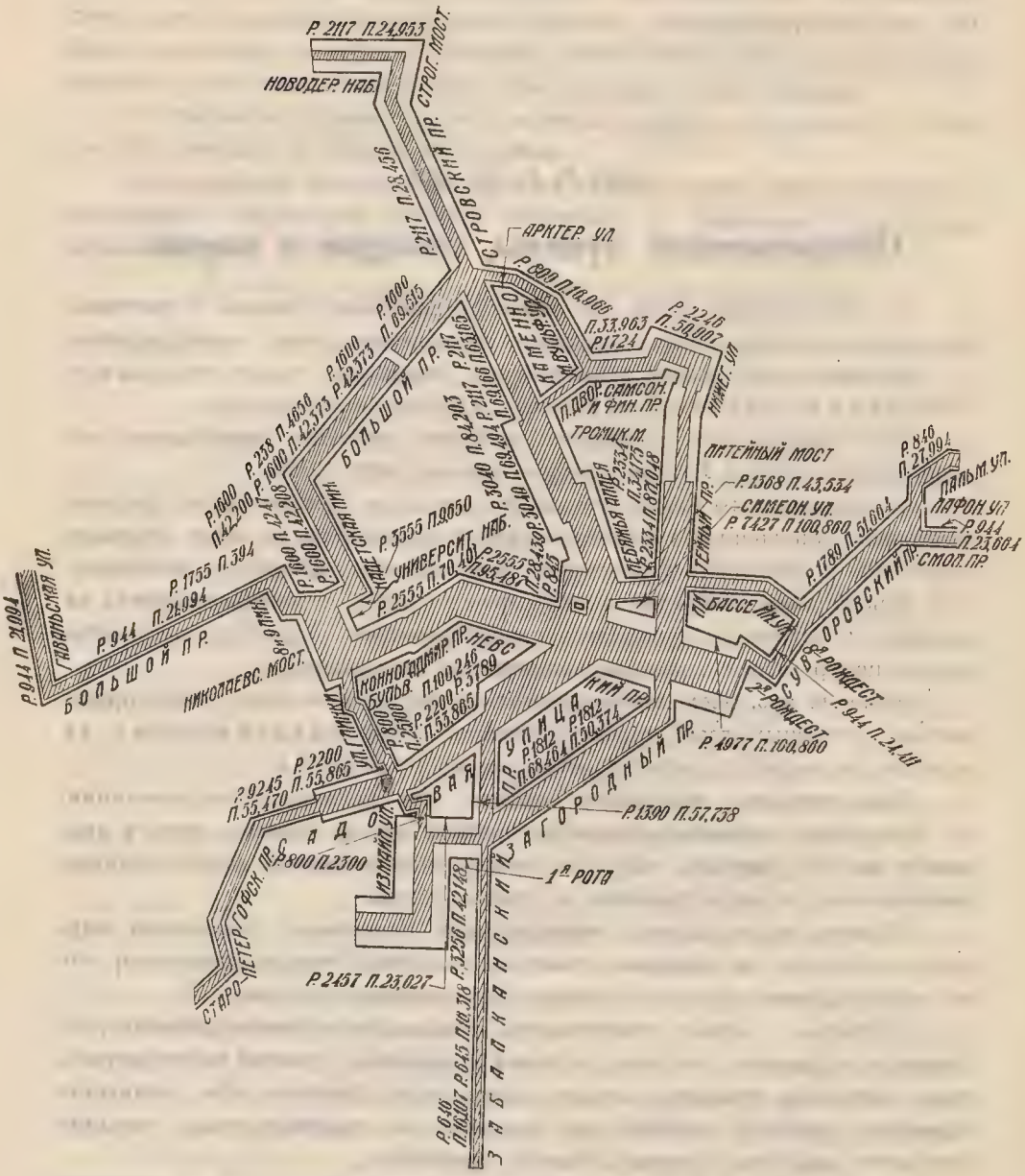
Обычно, линия данного маршрута или нескольких сходящихся маршрутов делится на несколько участков различной густоты движения; тот же метод применяется и на пригородных железных дорогах.

Очевидно, с целью удовлетворить указанным условиям движения, на границах отдельных участков, а также в конечных пунктах линии должны быть устроены станции, дающие возможность быстрого, без излишних маневров, возврата поездов без задержек на промежуточных станциях сквозного движения поездов дальнего следования.

Таким образом, в зависимости от требования движения мы получим следующие основные типы остановочных пунктов:

I) Остановки поезда на перегоне.

II) Промежуточные станции на границах участков различной густоты движения.



Черт. 276.

Картограмма наполняемости вагонов Ленингр. трамвая в 1913 г

III) Конечные станции на окраинах города.

IV) Начальные станции трамваев в центральной части города.

С точки зрения схемы путевого устройства во всех перечисленных типах мы получим значительные упрощения по сравнению с железными дорогами.

Малые поездные единицы, возможность применения малых радиусов закруглений и больших углов наклона крестовин сокращают длину станционных путей. Применение электрической тяги, исключая набор воды и топлива, а для дорог трамвайного типа и смену моторного вагона, значительно упрощает маневры.

Остановочные пункты на перегонах.

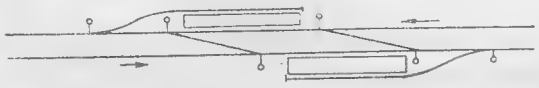
В пределах городской сети места остановок не требуют никаких добавочных путевых устройств; обычно, в зависимости от ширины улицы устраиваются лишь низкие платформы (Рефюжи) для посадки и высадки пассажиров. Облегчая посадку, рефюжи в то же время ограждают ожидающих пассажиров от экипажной езды.

Остановки располагаются в местах пересечения с другими маршрутами или в пунктах привлекающих пассажиров: торговые ряды, административные учреждения, банки и проч.

Размещаются остановки при пересечении улиц до пересекающей улицы по направлению движения.

На пригородных железных дорогах остановки на перегонах располагаются у населенных пунктов и имеют высокие платформы, малого размера легкие павильоны и запасные пути для обгона и возврата поездов в зависимости от графика движения или экстренных случаев.

На черт. 277 представлена схема простого устройства в виде двух переходов и двух тупиков, дающая возможность обгона с постановкой



Черт. 277.

Простейшая схема станции.

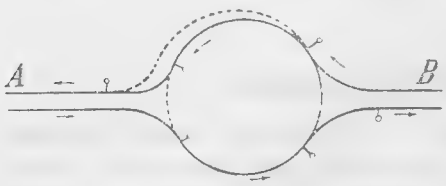
поезда на запас и возврата с маневрами на главных путях. Все стрелки, как видно на чертеже, пошерстные, что представляет значительные выгоды для сквозных поездов, не требуя замедления хода. Подобное устройство, требующее для возврата поездов маневров с выходом на главный путь, может быть допущено лишь при малой частоте движения или для случайных возвратов.

На малых остановках схема еще упрощается: остаются лишь два перехода или только два тупика для обгона.

Промежуточные станции на границах участков различной интенсивности движения.

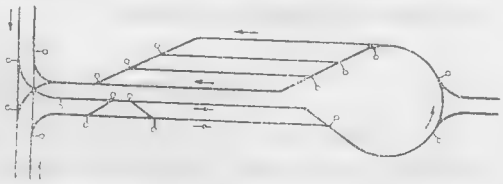
Станции этого типа должны удовлетворять требованию быстрого оборота поездов без задержки сквозного движения, поэтому главная цель заключается в полном уничтожении маневров или, во всяком случае, сведении их до возможного минимума.

В наилучшей степени этому условию удовлетворяют петли и кольца, о которых вкратце уже было упомянуто в главе VI. На чертеже 278 показана наиболее простая петля для одного оборачивающегося маршрута.



Черт. 278.

Одиночная петля.

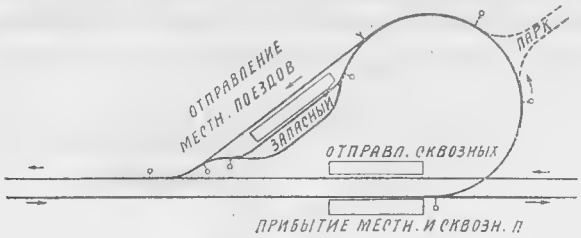


Черт. 279.

Одиночная петля с запасными путями.

Рациональнее иметь самостоятельный путь отправления, показанный пунктиром, во избежание задержки сквозных поездов. Кроме того, если по условиям движения возможен возврат поездов по направлению *B*, то добавляется соединительный путь, показанный пунктиром, который превращает петлю в замкнутое однопутное кольцо; путь этот может служить и для постановки больных вагонов.

Вообще говоря, в подобной петле следует иметь, кроме главного, несколько путей отправления по количеству конечных для данного пункта



Черт. 280.

Промежуточная петля пригородн. жел. дор. без возврата поездов.

маршрутов и один запасной путь для больных вагонов, как показано на чертеже 279.

В зависимости от местных особенностей плана очертание схемы меняется, и в случае отсутствия площади петля может быть осуществлена укладкой пути по параллельной улице.

На пригородных железных дорогах схема остается та же, но несколько меняется расположение петли относительно главных путей, как показано на чертеже 280.

Настоящая схема дает возможность быстрого поворота поездов без маневров и, выделяя пути отправления местных поездов, не задерживает движения сквозных. Неизбежный недостаток — одна противошерстная стрелка и одно пересечение на главных путях — существенного значения не имеет, так как обычно на этих станциях имеют остановку и сквозные поезда.

Нередко подобные станции соединяются с небольшим вагонным парком, и в таком случае петля соединяется с парковыми путями, как показано пунктиром.

Как было уже указано выше, возврат поездов может быть достигнут и без укладки петли устройством обгонных путей и вытяжек при условии маневров. Подобные схемы тоже находят применение на пригородных железных дорогах, причем схемы получили несколько большее развитие для достижения выделения маневров из главных путей. На чертеже 281 представлена подобная схема, примененная на Ораниенбаумской электрической железной дороге.

Станция может принять два местных поезда; для постановки вагона-мотора во главе поезда необходимы маневры, для чего служат две вы-

Черт. 281.

Схема станции без устройства петли.

тяжки. Кроме того, имеется запасный путь для больных вагонов или для погрузки.

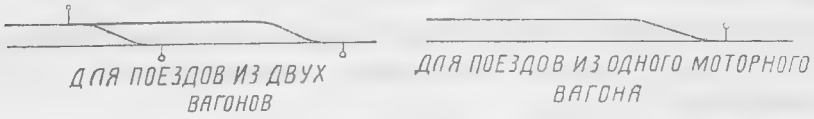
Вторая схема уступает первой в смысле количества стрелок и легкости маневров, но имеет преимущества в отношении площади потребной земли. Обстоятельство это имеет экономическое значение, так как подобные станции располагаются в населенных пунктах, и осуществление их потребует не только оплаты ценной земли, но и сноса строений. Эти соображения нередко заставляют применять вторую схему, несмотря на ее недостатки.

Конечные станции трамваев на окраинах города и в конечном пункте пригородных железных дорог.

Станции этого типа для трамваев в большинстве случаев представляются в виде описанных уже петель с количеством путей, соответствую-

щим количеству маршрутов и частоте движения. Отличие заключается в том, что отпадает продолжение путей, и посему нет надобности в соединении петли с этими путями. Для конечных линий с малым движением нет смысла в устройстве петель и можно ограничиться устройством тупика, как показано на чертеже 282.

Необходимо предвидеть, что линия с малым движением в первый период после открытия движения в скором времени превратится в линию

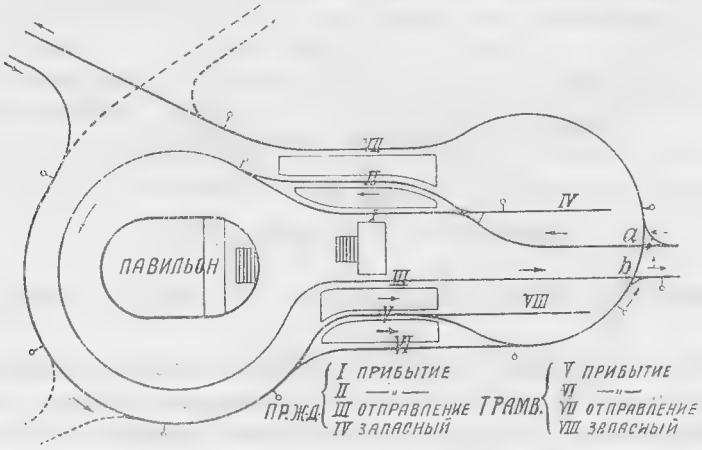


Черт. 282.

Конечная тупиковая станция простейшего типа.

с интенсивным движением, поэтому заранее нужно обеспечить место для будущего развития и превращения тупика в петлю.

Станции пригородных железных дорог подобно трамвайным сохраняют те же схемы, что и в предыдущем типе.



Черт. 283.

Соединение конечных пунктов трамвая и пригородных жел. дор. Тип I.

Интерес представляют те конечные пункты трамваев, которые являются в то же время начальными станциями пригородных железных дорог.

Пункты эти должны удовлетворять не только требованию легкого возврата поездов, но и удобной пересадки пассажиров. В этом отношении петли представляют наиболее выгодную схему и дают два возможных типа.

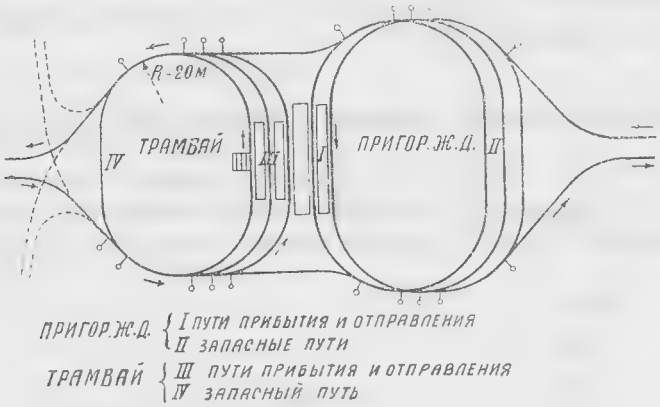
1-й тип представлен на чертеже 283.

Петля трамвая обхватывает петлю пригородной жел.-дор. и пересекается с ней в точках a и b. Пересадка пассажиров обеспечена удобным расположением платформ, соединенных тоннелем и разделенных по группам прибытия пригородных жел. дор. и отправления трамвая и обратно. Соединение путей пригородной жел. дор. и трамвая осуществлено двумя ответвлениями в точках a и b.

2-й тип представлен на чертеже 284.

Здесь мы имеем две отдельных петли, соединенных друг с другом на случай пропуска поездов пригородной жел. дор. по путям трамвая и обратно.

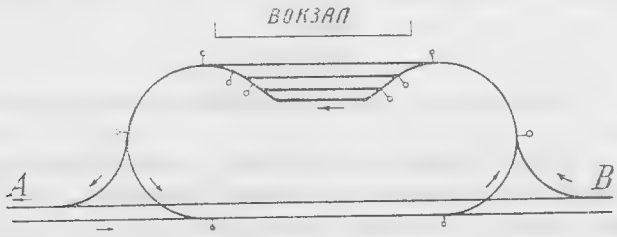
Прибытие и отправление поездов не имеет специальных путей, что представляет неудобство для пассажиров. Схема по сравнению с первой



Черт. 284.

Соединение конечных пунктов трамзая и пригородных жел. дор. Тип II.

требует больше места. Преимущества по сравнению с первой—отсутствие пересечения пути и полная обособленность хозяйств двух дорог. В данном случае мы имеем уже замкнутые петли, превращенные в кольца.



Черт. 285.

Схема трамвайной станции у вокзала жел. дор.

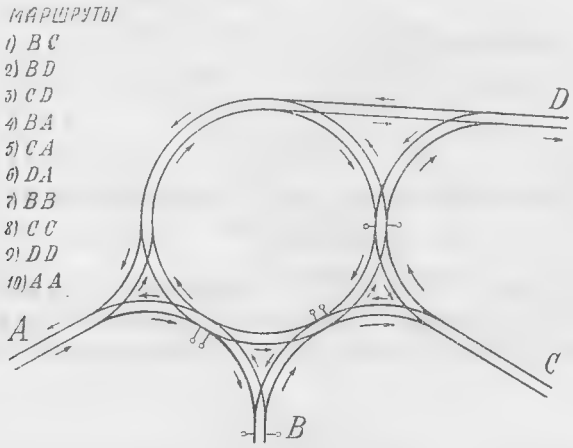
Чем глубже в город проникает пригородная жел. дор., чем центральнее расположение станций, тем больше маршрутов трамваев будет примыкать к ней; примыкания эти показаны на чертежах пунктиром. В зависимости от плана местности будет изменяться и геометрическое очертание схемы.

К этой же группе станций можно отнести трамвайные станции у вокзалов магистральных жел. дор. Отличие от предыдущего типа заключается в том, что пути трамвая не проникают к платформам железных дорог и располагаются лишь у вокзалов. На чертеже 285 дана схема, применявшаяся ранее у Детскосельского (б. Царскосельского) вокзала, в Ленинграде.

В данной схеме имеется три пути прибытия и отправления и один запасный, расположенные у главного входа вокзала. Схема дает возможность заходить к вокзалу сквозным поездам трамвая и в то же время служит петлей для возврата поездов тех маршрутов, для которых она является конечным пунктом.

Начальные станции трамваев в центральных частях города.

Станции эти, размещенные в пунктах наиболее густой сети с наибольшей интенсивностью движения, служат начальными пунктами для группы маршрутов и в то же время для соединения линий различного



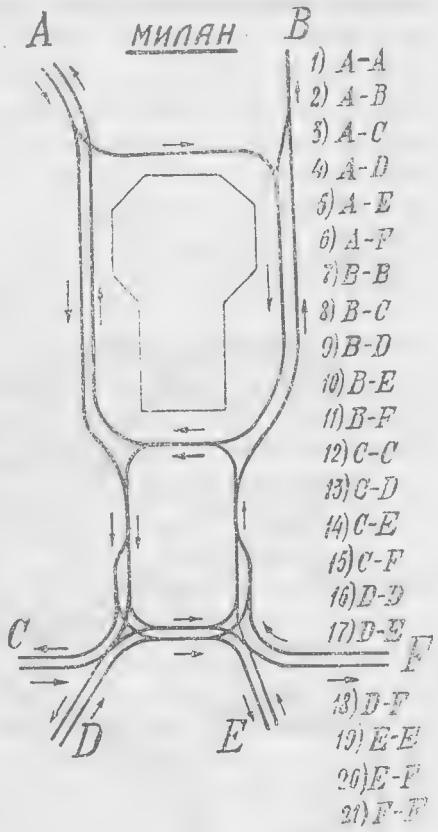
Черт. 286.

Двупутное кольцо на пл. Восстания в Ленинграде.

направления. Таким образом, они должны отвечать максимальной пропускной способности с наименьшей потерей времени на маневры. В наилучшей степени этим требованиям отвечает двупутное кольцо. На чертеже 286 представлено кольцо типа, уложенного в Ленинграде на бывшей Знаменской площади.

Настоящая схема дает соединение 4 примыкающих к кольцу линий *A*, *B*, *C* и *D* и возврат поездов по каждой из указанных четырех линий.

Приведенные примеры представляют лишь основные схемы; в зависимости от местных условий плана, направления примыкающих линий, числа маршрутов и интенсивности движения значительно видоизменяется общее очертание схемы, расположение путей и их протяжение. Как пример, на черт. 287 представлено кольцо на Соборной площади в Милане; оно обслуживает 21 маршрут.



Черт. 287.

Кольцо на Соборной пл. в Милане.

Вагонные парки.

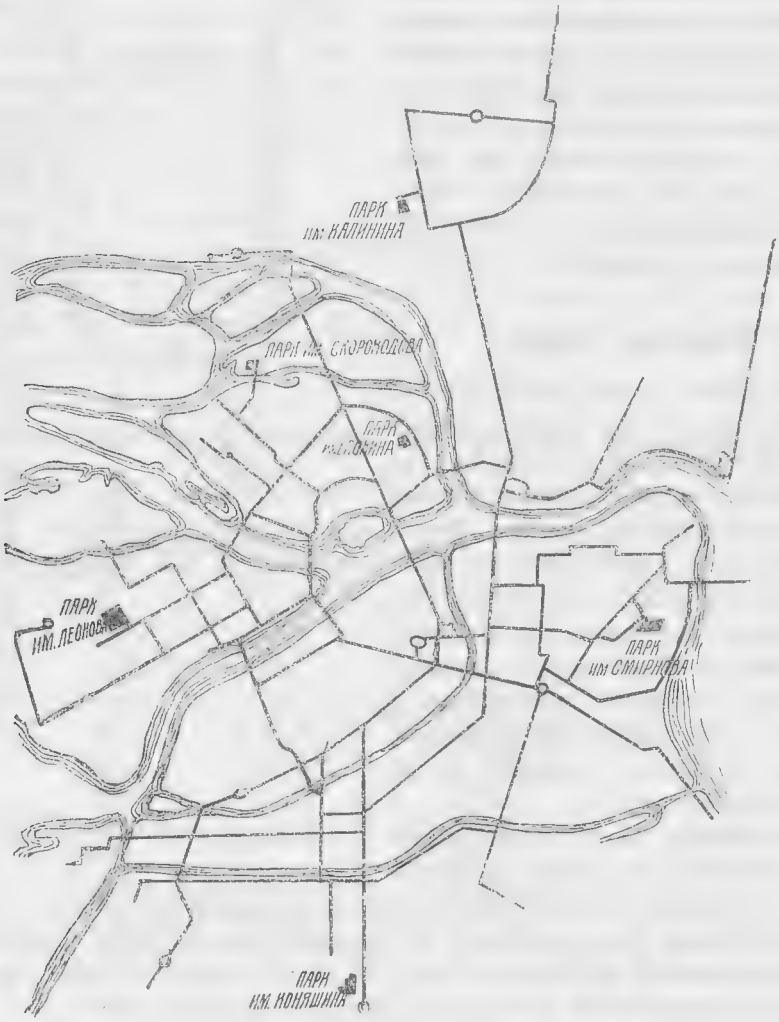
Вагонные парки служат местом стоянки вагонов во время прекращения движения, для осмотра, очистки и мелкого ремонта и для хранения запасных и больных вагонов. Таким образом, парк представляет собой огороженный участок земли с расположенными на нем сетью запасных и ходовых путей, вагонными сараями, зданиями служебного назначения и нередко мастерскими не только для мелкого, но и для среднего и капитального ремонта.

К каждому парку бывает приписано определенное количество моторных и прицепных вагонов; ночью в парке находятся все вагоны за исключением вагонов, отправленных в капитальный ремонт, если имеются особые центральные мастерские; днем в парке остаются лишь запасные вагоны и находящиеся в ремонте в малых мастерских парка.

Расположение парка относительно сети путей, а равно и расположение путей и зданий в самом парке должно удовлетворять требованию наименьшей затраты времени на выпуск поездов из парка и обратный прием в парк, а равно и на пробег поездов от парка до обслуживаемых им районов сети.

Отсюда ясно, что число парков должно быть возможно больше и каждый из них в отдельности должен занимать центральное место относительно обслуживаемого им района сети.

С другой стороны, чем больше количество парков, тем, очевидно, для одной и той же сети будет меньше его емкость, т. е. количество приписанных к нему вагонов. Для правильной работы парка необходима соответственная организация административного и технического надзора и



Черт. 288.

Расположение парков Ленинградского трамвая.

ясно, что накладные расходы по надзору будут тем меньше, чем больше количество приписанных вагонов.

Эти противоречащие друг другу требования должны быть взвешены и подсчитаны в цифрах, и принято наилучшее экономическое решение.

Обычно считают, что максимальное количество приписанных к парку вагонов, при правильном функционировании его административного аппарата, должно быть 250 при преобладании моторных вагонов и 300 при большем количестве прицепных.

Мы видели уже, что наиболее густая сеть с наибольшей интенсивностью движения находится в центре города, отсюда наиболее выгодное расположение парков, с целью уменьшения бесполезного пробега поездов, будет в центральных частях города. Подобное размещение встречает препятствие, с одной стороны, вследствие отсутствия свободных земель и высокой их стоимости в центре, с другой, и с точки зрения рациональной планировки города, стремящейся удалить от центра фабрики, заводы и мастерские.

Таким образом, в действительности мы почти всегда находим расположение парков ближе к окраинам, и лишь в исключительных случаях, благодаря специальным условиям данного района, удается достигнуть центрального расположения, как, например, парк им. Смирнова и парк им. Блохина (б.б. Рождественский и Петроградский) в Ленинграде.

На прилагаемом чертеже 288 указано расположение вагонных парков Ленинградского трамвая.

Как видно из плана, только б. Рождественский и б. Петроградский парк имеют центральное расположение, остальные расположены на окраинах города.

Для пригородных железных дорог вышеуказанные соображения остаются в силе, причем в виду отсутствия узлового характера сети обычно располагают парки в конечных пунктах, из них один основной парк с мастерскими—в начальном пункте, в районе наиболее густого движения и вблизи товарных станций железных дорог, второй малый, лишь с небольшими починочными мастерскими,—в конечном пункте. В зависимости от протяжения линии может быть устроен малый парк и в центре линии, на границе районов различной интенсивности движения. Так, например, для Ораниенбаумской электрической ж. д., протяжением двойного пути 35 верст от Нарвских ворот в Ленинграде до Ораниенбаума и 22 версты одиночного пути от Ораниенбаума до Красной Горки, спроектированы на первое время два парка: главный парк с мастерскими в расстоянии 7,6 верст от начального пункта на 60 вагонов и второй, малый парк без мастерских, в Ораниенбауме на 10 вагонов.

Вагонные сараи.

Вагонные сараи являются местом хранения вагонов, осмотра их и очистки и мелкого ремонта. Для успешного выполнения означенных операций сараи должны быть светлые, теплые, снабжены смотровыми ямами для осмотра ходовых частей подвижного состава и несгораемы.

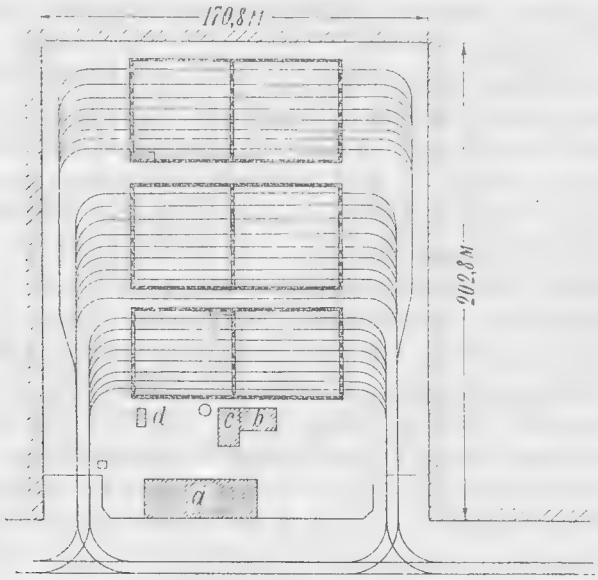
Последнее обстоятельство очень важно, т. к. стоимость находящихся в них вагонов велика: считая 80 вагонов в сарае по 10.000 рублей по прежним ценам, получим 0,8 мил. рублей.

Кроме того, расположение путей в сарае должно удовлетворять условиям быстрого выпуска и впуска вагонов без излишних маневров.

Тип парков и вагонных сараев.

Расположение путей и план сараев зависит, с одной стороны, от требований наиболее успешной его работы, с другой, от плана имеющегося участка земли.

Наиболее простой и отвечающей поставленным требованиям схемой будет прямоугольный парк, изображенный на черт. 289, представляющем собой генеральный план парка им. Леонова (б. Василеостровский) в Ленинграде.



Черт. 289.

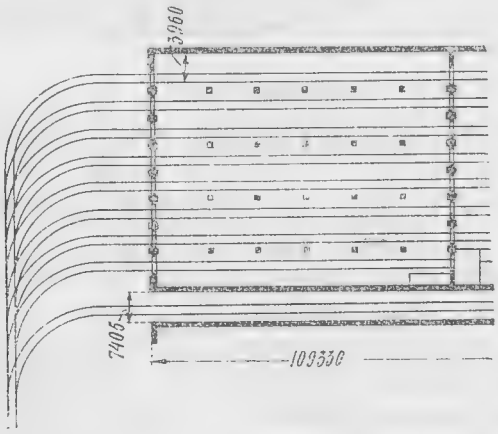
План Василеостровского парка в Ленинграде.

В парке имеется три прямоугольных сарая с восемью путями на 10 вагонов каждый, т. е. вместимость сарая 80 вагонов, а полная вместимость парка 240 вагонов. Сараи сквозные, разделенные поперечной стеной на две части; впуск и выпуск возможен с одной и с двух сторон. Каждый сарай обслуживается двумя стрелочными улицами, имеющими самостоятельные выходы на ходовые пути.

Кроме того, между сараями имеются два сквозных запасных пути для постановки вагонов. Два основных двухколейных пути парка соединены с линией сети двумя узлами с двухсторонними ответвлениями и кроме того пути каждого из входов соединены между собой двойным крестообразным переходом. Подобная схема дает возможность быстрого выпуска и впуска поездов любого направления. Осуществление данной схемы требует соответствующего участка земли и применения стрелочных улиц с углом наклона в 90°. Тип этот дает наилучшую утилизацию площади земли, но, как мы уже видели выше, требует применения литых стрелок и крестовин сравнительно высокой стоимости.

Каждый сарай имеет бетонные смотровые ямы (см. черт. 290) по длине всех путей, соединенные между собой поперечными проходами, что дает возможность быстрого осмотра вагонов.

Расстояние между осями путей принято 4,822 м., при столбах перекрытия на междтпутии, и 4,417 м., при отсутствии их, что дает между



Черт. 290.

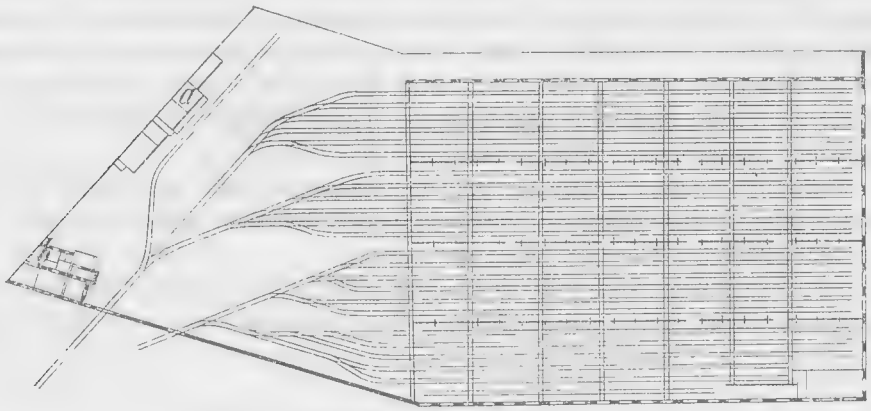
Сарай Василеостровского парка.

габаритами вагона от 2,20 м. до 2,60 м. и от габарита вагона до столба 1,1 м. От крайнего пути до стен принято 4,00 м., что дает до габарита 2,9 м. и позволяет установить вдоль стены слесарные верстаки. Длина сарая внутри 27,50 саж., ширина 18,57 саж.

Примером сарая тупикового типа, с несколько иным расположением стрелочных улиц, может служить вагонный парк в Шарлоттенбурге, в Берлине (см. черт. 291).

Длина сарая=120 м., ширина=90 м., вместимость 280 вагонов. Сарай разделен на четыре отделения продольными стенками с отводом воды внутрь здания. В каждом отделении имеется по шесть путей на 12 вагонов каждый, при длине стойла 10 м. и расстоянии между осями путей 3,5 м. Смотровые ямы устроены в начале и в конце каждого пути за

исключением двух крайних путей, имеющих ямы на всем протяжении. Отопления в сарае нет. Стрелочные улицы путей имеют малый угол наклона, и потому могут быть применимы сборные стрелки и крестовины. Подобная схема путей требует большей площади для укладки.



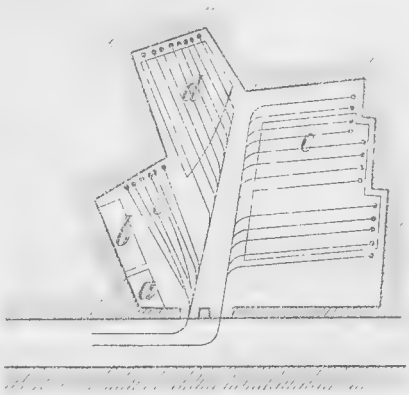
Черт. 291.

Вагонный сарай тупикового типа в Шарлоттенбурге.

Влияние формы участка земли на расположение путей и план сарая усматривается из двух нижеследующих примеров.

На чертеже 292 представлен вагонный парк в Антверпене.

Участок земли между домами перекрыт общей крышей с отводом воды внутрь здания. Стрелочные улицы размещены в сарае. Вместо ям имеется сплошное подполье, и пути уложены на отдельных металлических опорах, связанных поперечными и продольными балками. Вместимость сарая 104 вагона.



Черт. 292.

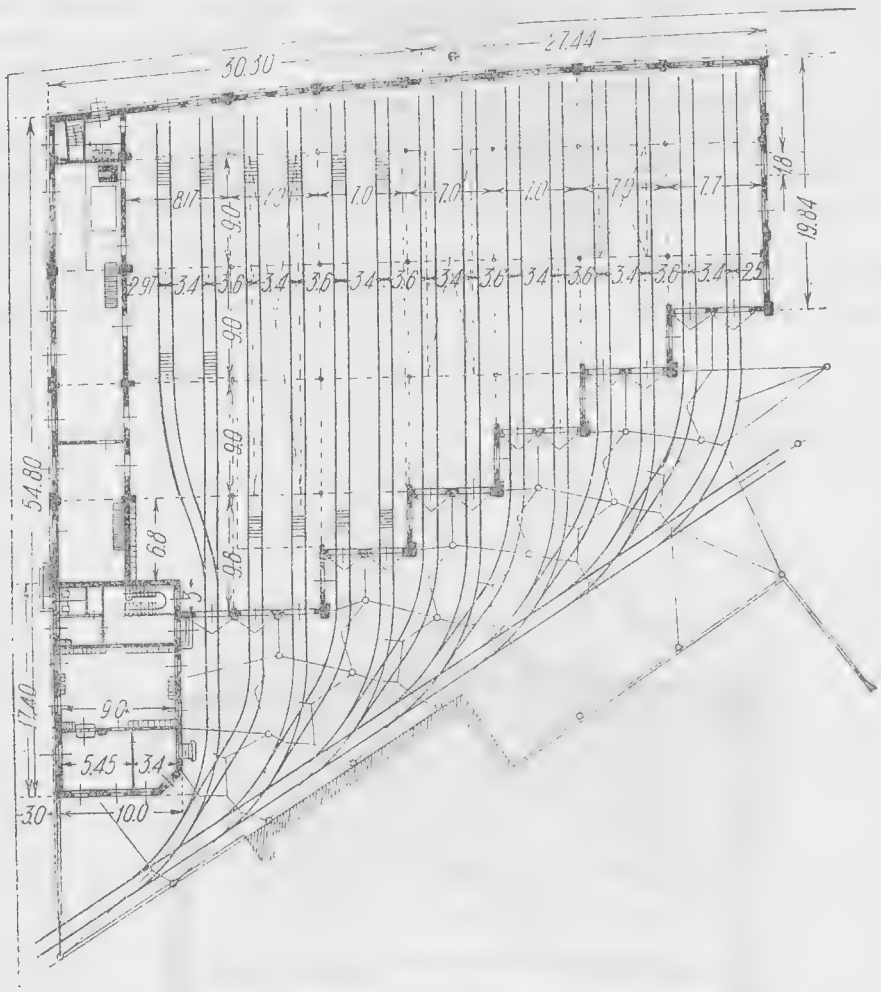
Вагонный парк в Антверпене.

На чертеже 293 представлен уступчатый вагонный сарай в Цюрихе, в Швейцарии.

С левой длинной продольной стороны сарая размещены служебные помещения и малая мастерская. Освещение осуществлено с торцовой и боковой короткой стены окнами и фонарями в крыше. В сарае имеется 17 тупиковых путей, из них наиболее длинные снабжены смотровыми ямами.

Расстояние между осями путей 3,4 м., а при наличии столба перекрытия—3,6 м.; до стен—2,50 м. и со стороны мастерской—2,97 м. Длина вагона между буферами 8,0 м., ширина 2,00 м.

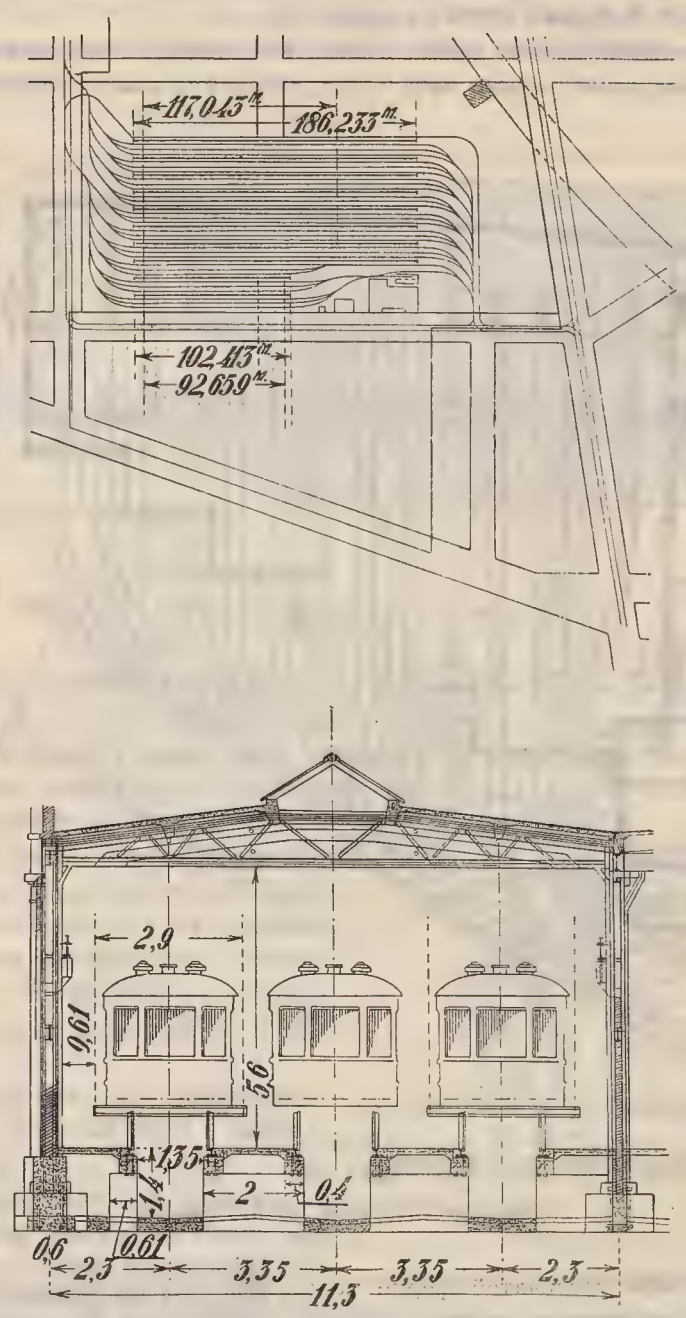
Два крайних пути вдоль малых мастерских предназначены для ремонта, следующие четыре пути — для осмотра и очистки вагонов.



Черт. 293.

Уступчатый вагонный сарай в Цюрихе.

Благодаря уступчатой форме сарая угол уклона стрелочной улицы невелик, и стрелочные переводы, простой конструкции без сложных пересечений, могут быть уложены из сборных стрелок и крестовин. Уступчатая форма сарая дает возможность сократить площадь земли, занятую стрелочными улицами.



Черт. 294.

Вагонный парк в Люцерне (план парка и разрез сарая).

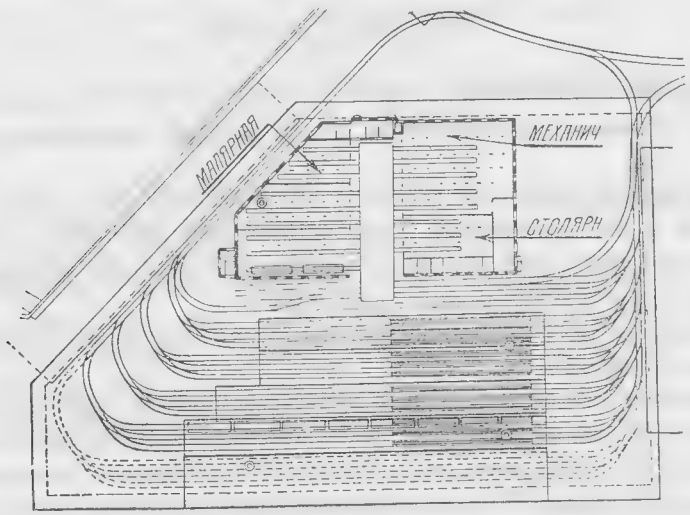
На чертеже 294 представлен план парка в Люцерне и поперечный разрез части сарая, предназначенного для легкого ремонта.

Сарай разделен продольными стенками на 10 отделений, из них 7 по 3 пути в каждом при длине пути 611′, по 13 вагонов на каждом пути, и 3 по 3 пути в 336′, по 7 вагонов на каждом пути. Крайнее из малых отделений предназначено для мелкого ремонта и представлено в поперечном сечении. Смотровые ямы расположены под каждым путем, но не по всей длине: при длине пути 611′—длина ямы 384′; при длине пути 366′—длина ямы 304′.

Для стрелочных улиц данного пересечения характерна группировка их по 3 пути в один путь, вливающийся в общий ходовой путь стрелочной улицы. Сараи сквозного типа, общей вместимости 294 вагона.

На чертеже 295 мы имеем пример парка с центральными мастерскими Американского типа.

Вагонные сараи уступчатой формы разделены продольными стенками на 4 отделения по 3 пути в каждом отделении; смотровые ямы распо-



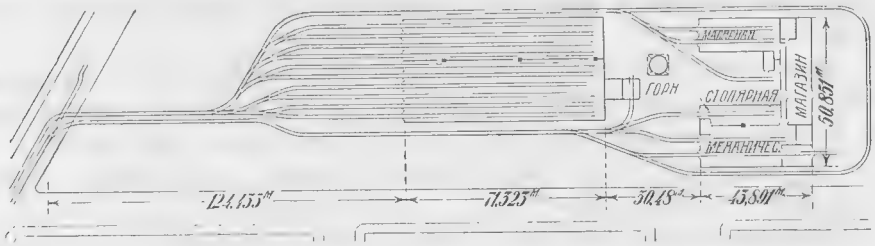
Черт. 295.

Парк с центральными мастерскими.

жены под каждым путем приблизительно на протяжении половины длины пути, вместимость сарая 816 вагонов. Мастерские расположены в отдельном здании, подача вагонов в отдельные цехи мастерских производится посредством поперечной тележки и специальных путей, соединенных со стрелочными улицами парковых путей. Стойла отдельных цехов расположены перпендикулярно к пути поперечной тележки. Механический цех рассчитан на 5 вагонов, деревообделочный на 3 вагона и малярный на 19 вагонов. Подобное расположение цехов и путей поперечной тележки

дает возможность быстрой подачи вагонов в стойла цехов без маневров. Тип этот применяется для мастерских размером не менее четырех стойл в механическом цехе.

Для небольших предприятий, как трамваев, так и пригородных железных дорог, хорошим примером может служить небольшой парк с мастерской одной из Американских дорог, представленный на черт. 296.



Черт. 296.

Малый парк с мастерской.

Вместимость вагонного сарая тупикового типа на десять путей от 70 до 80 вагонов трамвайных и до 40 вагонов пригородных железных дорог.

Мастерские имеют два стойла в механическом цехе, одно в деревообделочном и два в малярном. Парк расположен компактно, и подача вагонов в мастерские хотя и требует маневров, но весьма несложных, и не сопряжена с потерей времени.

Расположение и наименование цехов и служебных помещений указано на чертеже.

Заканчивая на этом описание типичных примеров расположения парковых путей и зданий, отметим, что иногда вследствие недостатка места стрелочные улицы парковых путей выносят из пределов огороженной площади парка на улицу. Способ этот может быть применен лишь в крайнем случае, так как он затрудняет маневры в парке и задерживает движение на главных путях и движение экипажей на улицах.

Смотровые ямы и конструкция укладки пути на них.

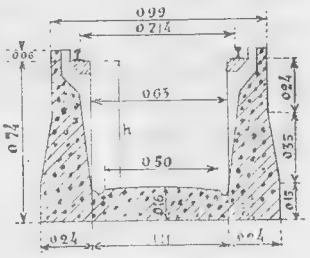
Не останавливаясь на описании конструкций зданий, что не входит в программу настоящей книги, отметим лишь устройство смотровых ям и способы укладки путей на них.

Как уже было упомянуто выше, смотровые ямы служат для осмотра ходовых частей вагона, поэтому верхняя часть их должна быть открыта на всем протяжении ямы и лишь в местах поперечных переходов может быть перекрыта досками. Кроме того, смотровые ямы должны отводить

воду, накопляющуюся при промывке, как в самих ямах, так и стекающую с пола сарая. Поэтому дну ямы придают продольный уклон около 0,0025, причем минимальная глубина ямы от подошвы рельса принимается 1200 мм. При длинных ямах уклон дается от середины к торцовым стенам здания, где и располагаются приемные колодцы канализации.

На чертеже 297 изображена яма Ленинградского трамвая в поперечном сечении. Как видно из чертежа, стены и пол ямы бетонные.

Ширина ямы (при колее 1524 мм.) — 0,63 с. = 1344 мм., т.-е. на 40 мм. меньше расстояния между подошвами рельсов, равного 1524 — 170 + 30 = 1384 мм.



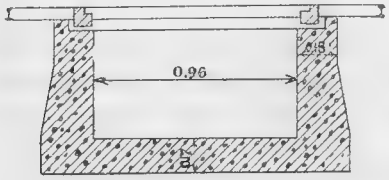
Черт. 297.

Яма вагонного сарая.

Таким образом, стена ямы на 20 мм. выступает внутрь ямы от края подошвы рельса. Этот размер следует принять, как минимум, причем ширина ямы определится, как функция ширины колеи a, ширины подошвы рельса b и расстояния рабочего канта головки рельса до оси шейки ξ, т.-е. ширина ямы (минимум).

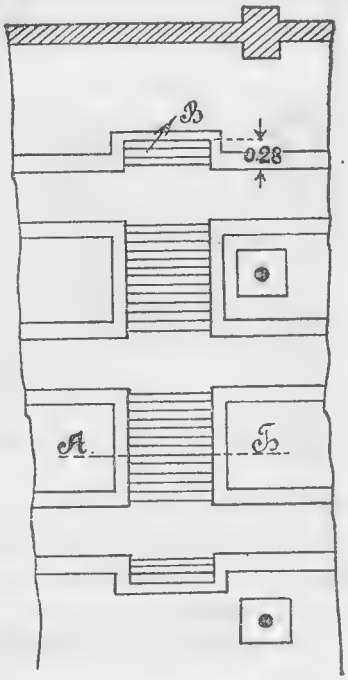
$$B = a - 2\ (b - \xi) + 40 \text{ мм.}$$

Дно ямы делается выпуклым к середине для поперечного стока воды в продольные канавы. Первоначально рельсы были уложены непосредственно на бетон боковых стенок, но недостатки жесткой опоры быстро сказались, и бетон разрушался под подошвой рельса. Впоследствии были заложены в бетон короткие дубовые



Черт. 298.

Сообщение между ямами через досчатые перекрытия (разрез по АБ).



Черт. 299.

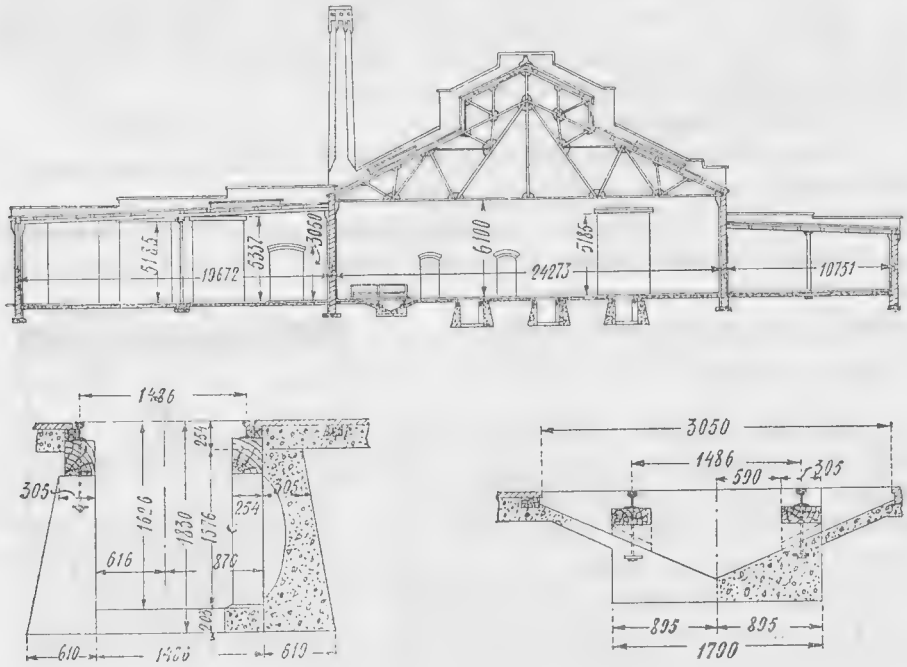
Сообщение между ямами через досчатые перекрытия (вид. сверху).

подкладки в расстоянии 600 мм. друг от друга, к которым рельсы были укреплены шурупами. Лучшим типом следует признать укладку на про-

дольных брусьях. Междопутия между ямами засыпаны сухой землей и сделана торцовая мостовая на бетонном основании.

Для сообщения между ямами сделаны поперечные перекрытия съемными щитами из досок, причем против проходов в стенах ям устроены ниши глубиной 0,28 с., как показано на чертежах 298 — 299. Для соединения рельсов в поперечном направлении применены тяги в междопутии.

При укладке путей в сараях без ям таковая была осуществлена на шпалах, заделанных в бетон и замощенных по верху торцами. Рельсы



Черт. 300.

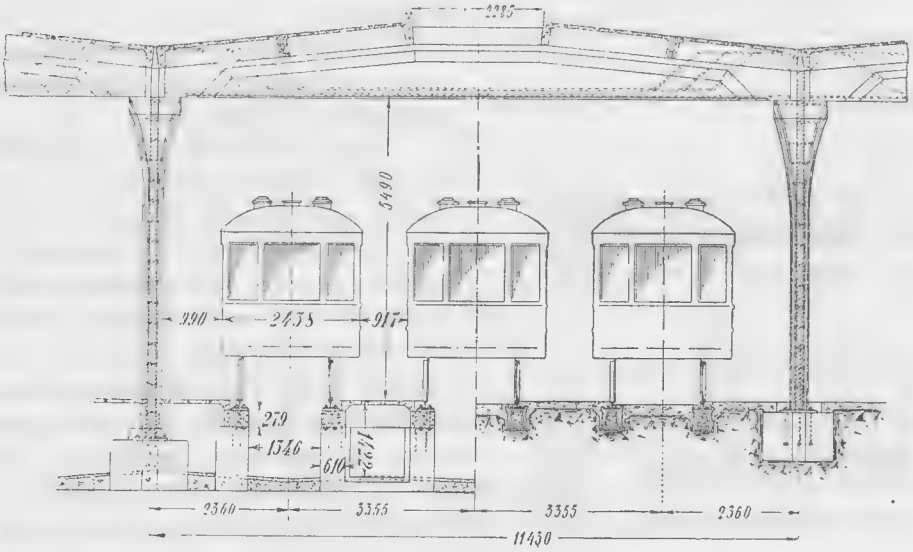
Сарай и смотровые ямы Американского типа.

были уложены типа „Феникс", в чем нет надобности для путей на ямах, особенно при укладке на деревянных продольных брусьях. Виньолевские рельсы тяжелого типа вполне рациональны и при них легче осмотр реборд бандажей.

На чертеже 300 представлен поперечный разрез сарая и ям Американского типа.

Как видно из чертежа, укладка рельсов типа „Виньоль", сделана на продольных брусьях $10'' \times 12''$ ширина ямы $4'1\frac{1}{2}''$, что при колее в $4'8\frac{1}{2}''$ и расстоянии между осями рельсов $4'10\frac{1}{2}''$ дает между центрами брусьев $4'10\frac{1}{2}''$. Таким образом, считая ширину подошвы рельса $6''$, мы получим выступ бруса в каждую сторону на $2'' = 50$ мм., что дает возможность пришивки рельс шурупами. Брусья укреплены к бетону стенок анкерными

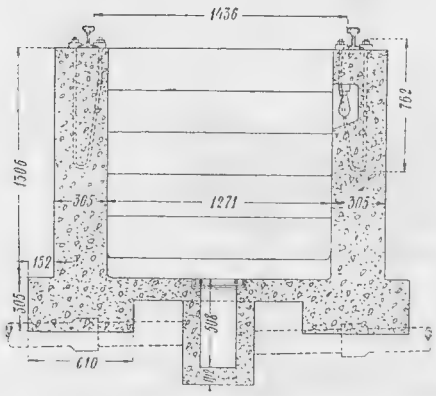
болтами. Для бокового осмотра и промывки вагона предусмотрен специальный тип ям малой глубины и треугольного сечения.



Черт. 301.

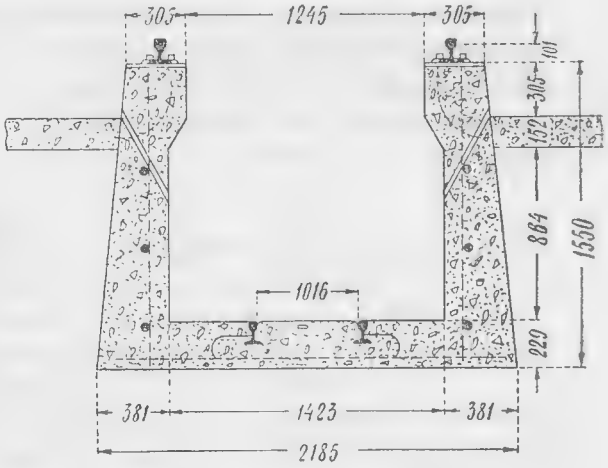
Поперечный разрез вагонного сарая в Люцерне.

На чертеже 301 представлен поперечный разрез вагонного сарая в Люцерне; здесь имеется аналогичный тип ям с укреплением рельсов спе-



Черт. 302.

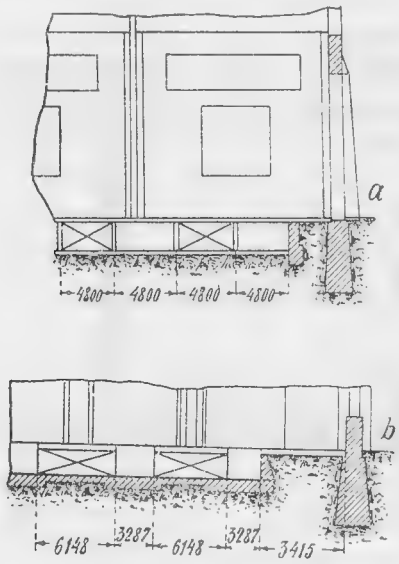
Конструкция смотровой ямы с укреплением рельсов анкерами.



Черт. 303.

Последний Американский тип смотровой ямы.

циальными захватами к продольным брусьям посредством анкерных болтов, что дает возможность увеличить ширину ямы до 4'5'' = 1.346 мм.



Черт. 304.

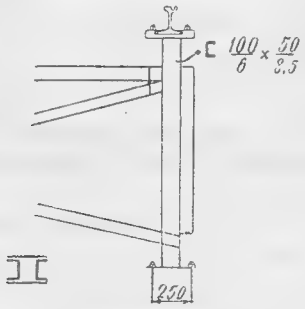
Тип сквозного подполья с путями на металлических фермах.

Чертеж 302 дает подобную же конструкцию смотровой ямы без продольных брусьев, с укреплением рельсов посредством специальных зажимов анкерными болтами.

Один из последних Американских типов изображен на чертеже 303. Стены ям железобетонные, ширина ямы в нижней части доведена до 4'8'' = 1.422 мм. Пол междопутия понижен на 1'4'' ниже головки рельса, что создает большое удобство при осмотре букс. Рельсы закреплены к стенкам анкерными болтами и уложены на железных подкладках.

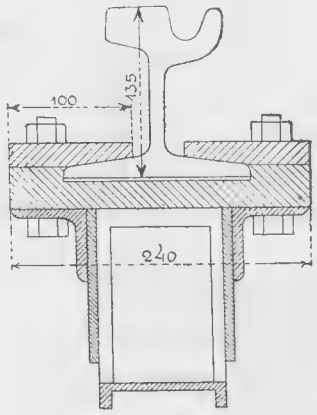
В описанных конструкциях мы имели применение отдельных ям с засыпанными междопутиями. Приведем несколько примеров устройства сплошного подполья.

На чертеже 304 схематически показано размещение ферм поддерживающих рельсовые пути, принятое в Ленинградском трамвае. Стойки из клепанного железа схвачены крестообразно уголковым железом в поперечном направлении и через пролет таким же образом в продольном направлении. Рельсы уложены на чугунных подушках 250 × 250 мм., с прокладкой свинца под подошву рельса. (См. черт. 305 и 306).



Черт. 305.

Укладка рельс на чугунных подушках.



Черт. 306.

Укладка рельс на чугунных подушках.

Различие в конструкциях заключается в применении для стоек ферм чугунных колонок (трамвай в Антверпене при ширине колеи 1000 м.) и способах соединения их.

Общие выводы.

Как мы видели уже из приведенных примеров, стрелочные улицы парковых путей встречаются двух типов:

1) Угол между направлением ходового пути и ответвленных сарайных путей равняется 90°, причем крестовины и стрелки должны быть спроектированы по кривой малого радиуса $R \leq 15$ м. Получаются сложные пересечения внутренних стрелок с наружным кривым рельсом, вследствие чего приходится применять исключительно литые стрелки и крестовины,

2) Угол между направлением ходового пути стрелочной улицы и ответвленных сарайных путей $a \leq arctg\ ^1/_4$; в таком случае получаются прямые крестовины, нет сложных пересечений и могут быть применены сборные стрелки и крестовины.

Первый тип стрелочной улицы дороже, но требует меньшей площади для укладки; второй — дешевле, но потребная для укладки площадь значительно больше.

В техническом отношении для сквозных сараев первый тип предпочтительнее, однако, в зависимости от ценности земли и формы участка, второй тип может оказаться более рациональным, особенно для тупиковых сараев. Как в том, так и в другом случае, в виду незначительной ширины ворот сараев (ширина ворот на 15 — 20 см. больше ширины вагона) необходимо, чтобы в расстоянии не менее 1,00 м. от входа в сарай вагон занял положение, которое он занимает на прямом пути; поэтому расстояние от начала кривой сарайного пути до стены сарая должно быть определено в зависимости от длины вагона и базы ходовых частей, т.-е.

$$x = \frac{L+l}{2} + 1{,}00 \text{ м., где}$$

L — длина вагона в метрах;

l — расстояние между осями двухосного вагона или расстояние между крайними осями четырехосного вагона в метрах;

x — расстояние от стены сарая до начала кривой сарайного пути.

Расстояние между осями путей стрелочных улиц определяется размером ширины прохода между габаритами вагонов в сарае.

В существующих примерах расстояние это колеблется от 900 мм. до 2200 мм., при отсутствии опор на междопутии, и от 600 до 1100 мм. от габарита вагона до столба. Расстояние габарита вагона от стены зависит от расположения смежных верстаков: если таковые устанавливаются вдоль стены, то расстояние не должно быть меньше 3000 мм., в противном случае — 1500 мм. вполне достаточно.

При определении расстояний между осями сарайных путей следует исходить из следующих норм:

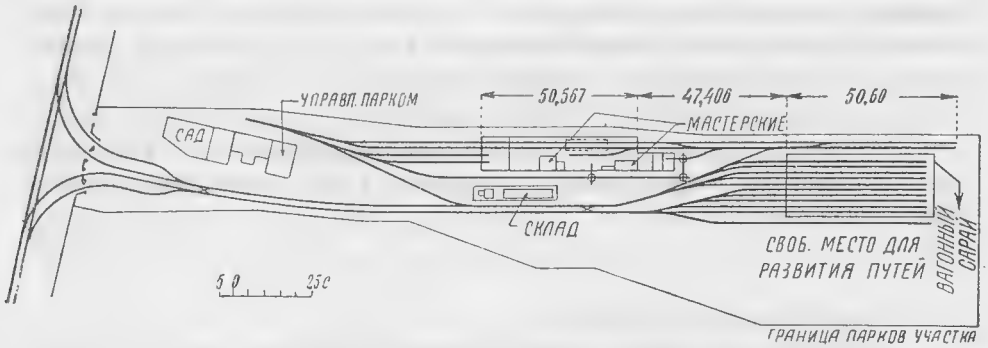
1) Если в сарае не производится ремонтных работ, а только осмотр и очистка вагонов, достаточно принять расстояние между габаритами вагонов 1000 мм., и до столба 700 мм.

2) В случае производства мелкого ремонта, нужно брать большие размеры, а именно между габаритами вагонов 2200 мм. и до столба 1100 мм.

Укладку путей на ямах бетонных или железобетонных следует производить на продольных брусьях шириной не менее $10'' = 250$ мм., что будет соответствовать ширине ямы в верхней части при нормальной колее: $1524 - 250 + 60 = 1334$ мм., где 60 мм. ширина головки рельса „Виньоль".

В случае сплошных подполий с металлическими опорами, следует устраивать прокладку свинца между подошвой рельса и подушкой.

На ямах и в случае сплошных подполий следует укладывать рельсы типа „Виньоль", что же касается укладки сарайных путей без ям, то для прочности и большей сохранности замощения пока предпочтительнее желобчатый рельс „Феникс". В этом последнем случае, исходя из соображений, которые были уже высказаны в главе об основаниях, следует применять шпалы заделанные в бетон, так как для всякой конструкции пола бетон неизбежен.



Черт. 307.

Вагонный парк Ораниенбаумской эл. жел. дор. по проекту 1913 г.

Пути внесарайные, в сущности говоря, не требуют замощения за исключением лишь тех участков, где возможна ломовая или автомобильная езда при доставке материалов, и посему можно было бы применять рельс типа „Виньоль" на шпалах в песке с устройством хорошего водоотвода.

Тем не менее, большинство трамваев крупных и средних городов замащивают дворы парков и посему применяют рельс „Феникс". Объясняется это тем обстоятельством, что в большинстве случаев осмотр и

очистка вагонов производится, особенно в летнее время, и на открытых путях парка, что значительно облегчается замощением путей; кроме того, при маневрах вагонов, подлежащих ремонту по обточке бандажей (операция, которая обычно производится в парках), возможны сходы с рельс на кривых, и тогда замощение значительно облегчает подъемку.

На малых трамваях и пригородных железных дорогах замащиваются обычно лишь специальные пути, а потому и преобладает рельс Виньоля. В данном курсе, посвященном описанию путевого устройства, мы не касаемся устройства и конструкций парковых зданий. Для проектировки пути имеет значение лишь общий план парка с указанием размещения зданий специального назначения. Мы уже приводили примеры планов парковых сараев и их размещения в зависимости от очертания участка. Остается добавить, что в парках кроме сараев обычно имеется здание общей конторы парка, а также, в зависимости от размера парка, особые конторы службы движения и тяги, зал для кондукторов и вагоновожатых со столовой и приемный покой.

Кроме того, необходимо помещение магазина, который иногда находится в пристройке вагонного сарая или малых мастерских. Наконец, могут быть устроены жилые помещения для персонала, постоянное присутствие которого необходимо в парке (начальник парка, его помощник, кладовщики, дворники, сторожа).

На приведенном выше плане парка им. Леонова, в Ленинграде, указано расположение зданий парка; причем жилые помещения находятся во 2-ом этаже служебного дома.

Как пример общего расположения путей и зданий парка пригородной железной дороги, приводим парк Ораниенбаумской электрической железной дороги (см. черт. 307).

ГЛАВА IX.

Общие данные проектирования.

Ширина колеи.

Выбор ширины колеи является первым вопросом при составлении проекта. Как на городских, так и на пригородных железных дорогах наиболее употребительны две ширины колеи.

Широкая колея: $a = 5' = 1524$ мм., в России;
„ „ $a = 1435$ мм., в Европе и Америке;
Узкая колея $a = 1000$ мм., в России, Европе и Америке.

В экономическом отношении узкая метровая колея имеет неоспоримые преимущества: уменьшается полоса, занятая путями, количество замощения, объем земляных работ и основания, длина шпал, тяг и переводных брусьев.

Для пригородных железных дорог, исключая замощение, остаются в силе все перечисленные пункты и, кроме того, уменьшается ширина полосы отчуждения и искусственных сооружений.

На емкости вагонов ширина колеи отзывается мало, так как длина кузова вагона не изменяется, и по существующим нормам несколько уменьшается лишь ширина вагона.

На максимальные скорости движения, в пределах имеющихся скоростей $v = 30 \frac{\text{клм.}}{\text{час.}}$ для трамваев и $v = 70 \frac{\text{клм.}}{\text{час.}}$ для пригородных железных дорог, ширина колеи не влияет. Таким образом, казалось бы, что узкая колея, $a = 1000$ мм., должна исключительно применяться, тем не менее, мы видим значительное количество трамваев, имеющих широкую колею:

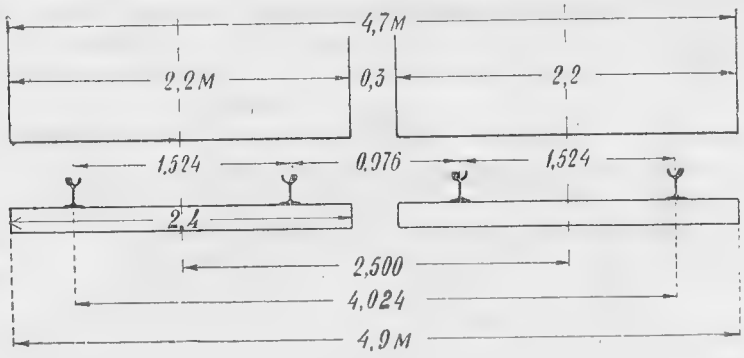
$a = 1524$ мм. в России,
$a = 1435$ мм. в Европе.

В анкете, приведенной на последнем Брюссельском Интернациональном Конгрессе, из 105 трамваев половина имеют узкую колею. Если же взять трамваи всего мира, то на широкую колею придется не более 40%. Широкая колея встречается, главным образом, в столичных и крупных промышленных городах с интенсивным движением, в городах же средних

и курортах преобладает узкая колея. Одним из важных факторов, влияющих на выбор ширины колеи, является та колея, которая имелась на путях городских железных дорог (конных или паровой тяги) до постройки трамвая.

Изменение колеи значительно затруднит сохранение непрерывности движения, так как электрическое оборудование трамвая значительно отстает от строительных работ и, обычно, по вновь построенным путям временно совершается движение прежним подвижным составом. Обстоятельство это должно быть принято во внимание при проектировке трамвая и, по всей вероятности, этим объясняется применение широкой колеи в старых больших городах.

Обычно, выдвигают еще одно преимущество широкой колеи, а именно, возможность пропуска по городским путям товарных вагонов прилегающих к городу нормальных железных дорог. Не говоря уже о затруднениях, которые встречаются по условиям габарита и малых радиусов кривых,



Черт. 308.

Габарит двойного пути при ширине колеи в 1524 мм.

проход нормальных вагонов совершенно невозможен по желобчатым рельсам вследствие иного размера насадки колес и более мощных реборд. Поэтому, если пропуск товарных вагонов необходим, то он должен быть осуществлен посредством особых тележек-транспортеров, на которые устанавливается вагон.

Укажем, насколько применение узкой колеи отражается на ширине полосы занятой путями при двупутной линии.

Ширина вагона трамваев при ширине колеи:

$a = 1524 - 1435$ мм. колеблется от 2,2 м. до 2,4 м.
$a = 1000$ мм. „ „ 1,8 м. „ 2,0 м.

Принимая расстояние между габаритами вагонов, как минимум, 300 мм. при боковой установке столбов, получим при шпальном основании, принимая длину шпал:

для колеи $a = 1524$ мм. — длина шпал 2,4 м.
$a = 1000$ мм. „ „ 1,8 м.,

ширину полосы, как это показано на черт. 308 и 309.

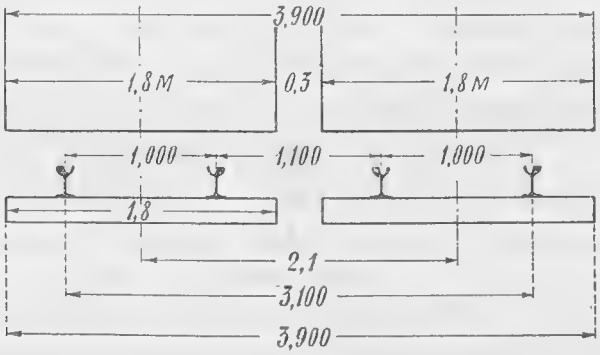
На чертеже 308 представлен поперечный разрез двойного пути при расстоянии между габаритами вагонов 300 мм. и широкой колее.

На чертеже 309 представлен поперечный разрез двойного пути при расстоянии между габаритами вагонов 300 мм. и узкой колее.

Сравнение приведенных схем дает следующие данные:

Ширина колеи	1524 мм.,	полоса занятая	путями		= 4,02	м.
„ „	1000 мм.,	„	„	„	= 3,10	м.
„ „	1524 мм.,	„	„	вагонами	= 4,70	м.
„ „	1000 мм.,	„	„	„	= 3,90	м.
„ „	1524 мм.,	ширина котлована земляных работ			= 4,9	м.
„ „	1000 мм.,	ширина котлована земляных работ			= 3,9	м.

Отсюда очевидно, насколько метровая колея облегчает проход по узким улицам и сокращает количество земляных работ и замощения. В старых



Черт. 309.

Габарит двойного пути при ширине колеи в 1000 мм.

городах, где в центральных частях ширина улиц очень мала, применение метровой колеи позволяет глубже проникать в центр города, а следовательно, и лучше его обслужить.

Что касается экономии в стоимости работ, то из приведенного сравнения мы видим, что:

для земляных работ она доходит до 20%,
для замощения . . . . . до 20%,
в длине шпал . . . . . до 25%.

Таким образом, все преимущества на стороне узкой колеи.

Для пригородных железных дорогах все высказанное остается в силе, а доминирующее значение имеет принятая ширина колеи на городских путях,

так как сеть пригородных дорог является непосредственным продолжением городских линий и должна предвидеть пропуск поездов по городской сети.

Действительно, преобладающее движение на пригородной жел. дороге есть пассажирское, поэтому быстрота и удобства доставки пассажиров к центру города без пересадки являются основным требованием.

В большинстве случаев постройка самостоятельных линий входа вне уровня улиц является непосильным расходом для пригородной жел. дороги, и наиболее простым решением будет пропуск вагонов пригородной дороги по путям городского трамвая.

За последнее время в пользу широкой колеи выдвигаются те преимущества, которые дает ширококолейный вагон для размещения тормозных устройств. Обстоятельство это может повлиять на предпочтение широкой колеи для трамваев крупных городов при больших скоростях и вагонах большой емкости.

Двупутные и однопутные линии.

Для выбора двупутной или однопутной линии с разъездами можно привести следующие соображения:

Однопутная линия дешевле, занимает по ширине улицы вдвое меньше места и потому может прокладываться по самым узким улицам. Действительно, для проведения одноколейного пути метровой ширины, при габарите вагона 1,80 м., потребна ширина улицы между тротуарами всего 6,80 метр. = 3,40 саж., считая для проезда экипажей ширину полосы в 2,50 м. с каждой стороны.

С другой стороны, однопутные линии с разъездами не гарантируют правильность движения, так как часто имеющие место в городах случайные остановки сбивают движение, вызывая задержки на разъездах. В смысле экипажного движения получается встречное движение, которое не только нарушает его правильность, но и опасно. Кроме того, с открытием движения возрастание его идет столь быстро, что необходимость переустройства на два пути представляется неотложной в самом ближайшем будущем.

Учитывая приведенные соображения, можно сказать, что однопутная линия может быть признана рациональной лишь при следующих условиях:

1) В малых городах с населением до 50 тысяч жителей, при малой интенсивности экипажного движения и частоте движения трамвая не чаще 10 минут. В этом случае трудно ожидать быстрого роста движения, нет оснований ожидать нарушения его правильности и, наконец, встречное движение не вызывает опасения вследствие отсутствия интенсивного движения экипажей. Считая среднюю скорость движения от 12 до 15 $\frac{\text{клм.}}{\text{час.}}$, мы получим расстояние между разъездами около 1,00 — 1,3 клм.

2) На окраинных улицах средних городов, где имеют место указанные в пункте I-ом условия, и где по произведенным экономическим изысканиям нельзя ожидать быстрого заселения.

3) На пригородных железных дорогах, где частота движения не чаще 15 минут, и где расстояние между остановочными пунктами не менее 6 клм. В этом последнем случае надлежит сооружать полотно и искусственные сооружения под два пути, дабы при первой необходимости иметь возможность уложить второй путь, не нарушая движения по ранее уложенному.

Во всех перечисленных случаях укладку пути следует вести с таким расчетом, чтобы при укладке второго пути обойтись без передвижки ранее уложенного, а лишь соединить разъезды, выкинув стрелки.

Расстояние между разъездами определится, как функция средней скорости и частоты движения, полезная длина разъезда, — как функция длины вагона и количества вагонов в поезде. Таким образом, получим:

$$L = \frac{v \times p}{2 \times 60}, \text{ где}$$

L — расстояние между центрами разъездов в километрах,

v — средняя скорость движения в $\frac{\text{клм.}}{\text{час.}}$,

p — частота движения в минутах.

Если $v = 12 \frac{\text{клм.}}{\text{час.}}$; $p = 10$ мин., то $L = \frac{12 \times 10}{2 \times 60} = 1{,}0$ клм.

Полная длина разъезда определится по формуле:

$$U = nu + 2q, \text{ где}$$

U — длина разъезда от стрелки до стрелки,

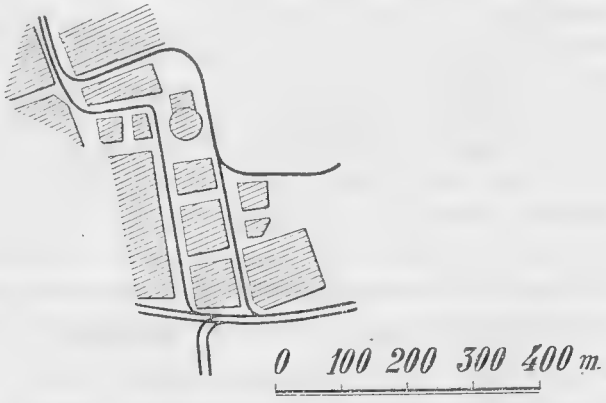
n — число вагонов в поезде,

u — длина вагона,

q — расстояние от начала стрелки до предельного столбика.

При $n = 2$; $u = 10$ м.; $q = 11{,}7$ м.

$$U = 2 \times 10 + 2 \times 11{,}7 = 43{,}4 \text{ м.}$$

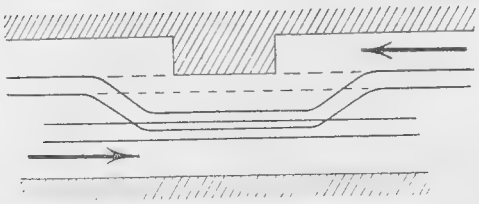


Черт. 310.

Укладка линий по параллельным улицам.

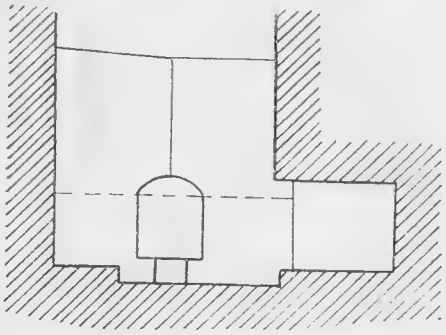
Во всех остальных случаях двупутная линия имеет неоспоримые преимущества и должна применяться, как единственно рациональное решение вопроса.

При этом необходимо отметить, что единственное затруднение, встречающееся для двупутных линий, — недостаток места при узких улицах,— можно преодолеть либо укладкой линий по одному пути на параллельных улицах, как показано на чертеже 310, причем расстояние между улицами не должно превышать 200 саж., и направление экипажного движения



Черт. 311.

Сплетение путей.



Черт. 312.

Устройство тротуара при прокладке путей на узких улицах.

должно происходить преимущественно по направлению движения трамваев, либо применять укладку сплетения путей для обхода местного сужения улицы, как показано на чертеже 311.

Наконец, можно использовать для устройства тротуара нижний этаж дома (см. чертеж 312).

Примеры существующих укладок безусловно подтверждают правильность высказанных положений.

Анкета Брюссельского Конгресса указывает, что однопутные линии имеют лишь трамваи с малым протяжением пути (не более 10—15 клм.), во всех же других городах мы имеем смешанную сеть из двупутных и однопутных линий, с преобладанием первой и укладкой однопутных путей лишь на окраинах города и на пригородных линиях.

Габарит.

Габарит подвижного состава меняется в зависимости от ширины колеи и от типа дороги.

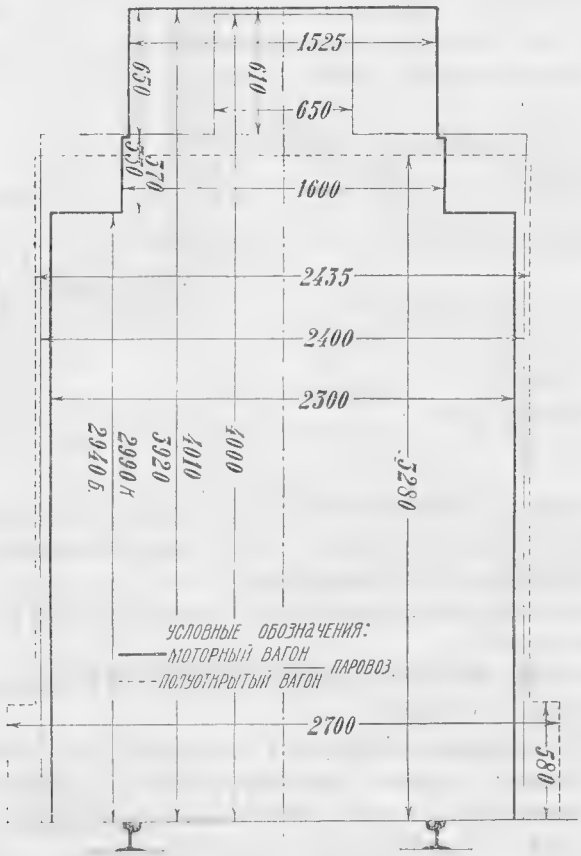
Для городских железных дорог обычно ширина вагонов колеблется:

для колеи	$a = 1000$ мм.	от 1,8 м. до 2,0 м.
„ „	$a = 1524$ мм.	„ 2,2 м. „ 2,4 м.

Для пригородных железных дорог:

при $a = 1000$ мм. от 2,2 м. до 2,6 м.
„ $a = 1524$ мм. „ 2,6 м. „ 3,4 м.,

причем последний размер представляет ширину нормального вагона магистральных дорог и, очевидно, не может быть принят для тех линий, которые предполагают вход своих поездов в город по путям трамвая; для этого последнего случая предельная ширина вагона должна быть принята 2,6 м.



Черт. 313.

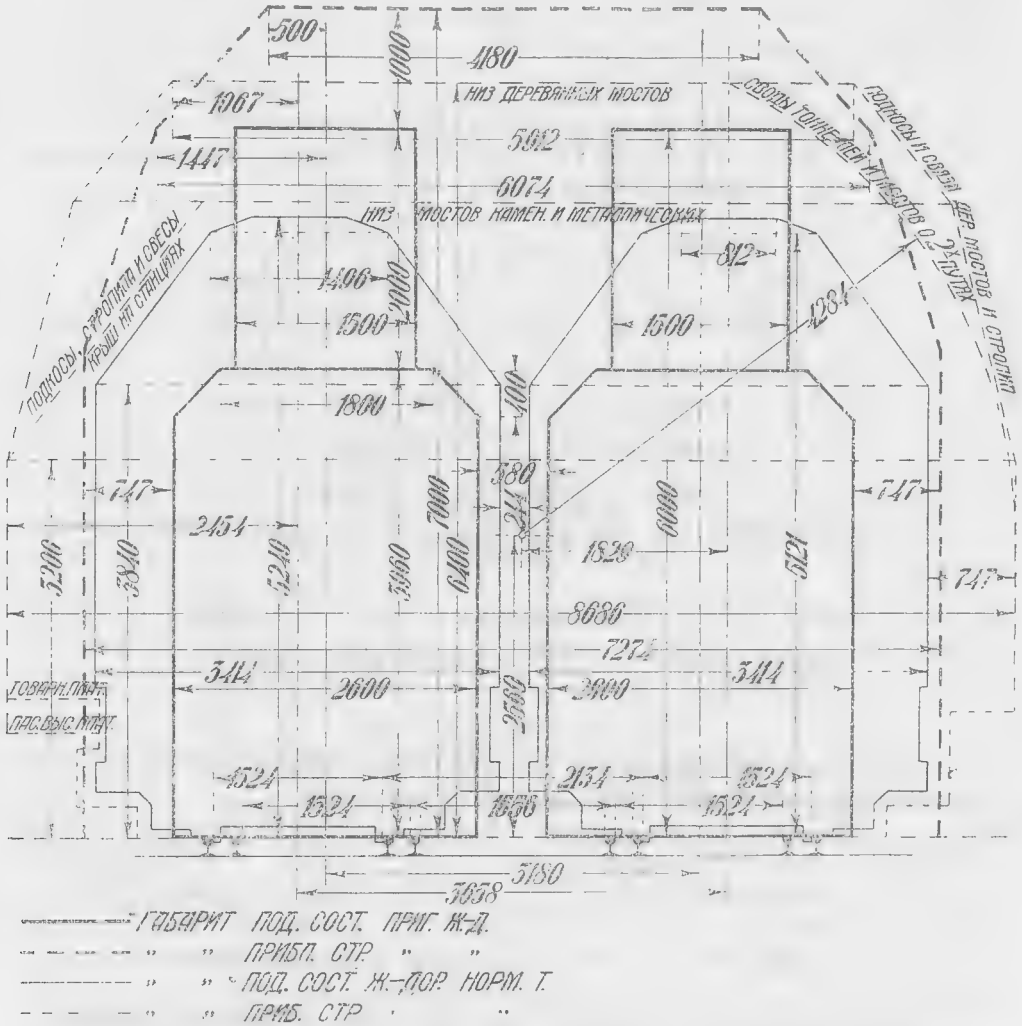
Габарит Ленинградского трамвая.

Утвержденных однообразных норм по габаритам подвижного состава и приближения строений для городских железных дорог не существует.

Есть лишь утвержденные для каждого отдельного трамвая габариты, причем ширина вагонов колеблется в указанных выше пределах.

Что же касается размеров между габаритами вагонов при двупутных линиях и габарита приближения строений, деревьев, столбов и проч., то можно привести следующие данные из существующих построек.

Расстояние между габаритами подвижного состава на двупутных линиях колеблется от 20 до 70 см., причем большинство трамваев придерживается, как минимума, размера 30 см. Сравнивая эти размеры с принятым на магистральных железных дорогах размером 244 мм., мы видим,



Черт. 314.

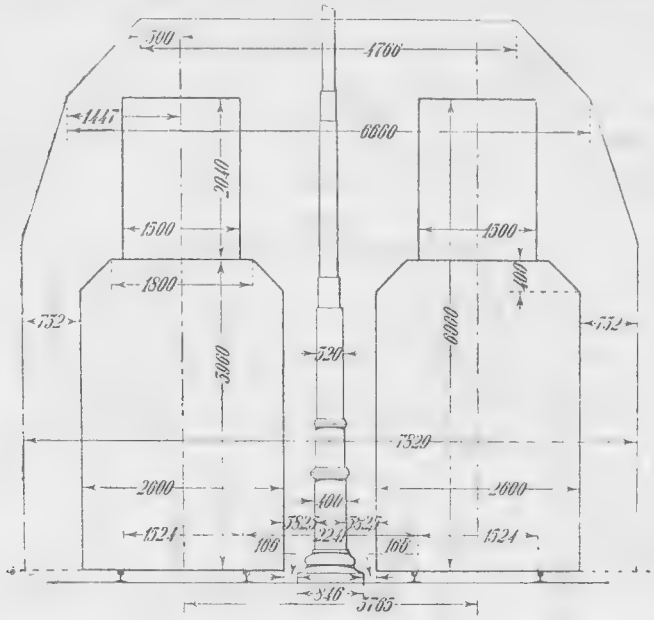
Совмещенный габарит магистр. и пригор. жел. дор.

что они, вообще говоря, больше. Здесь, очевидно, учтена укладка путей в пределах экипажного и пешеходного движения и возможность попадания людей между двумя вагонами на междопутии, что может иметь место при большой частоте движения.

В этом отношении Ленинградские нормы наиболее приемлемы. При отсутствии столбов на междопутии расстояние между габаритами вагонов

равно 0,850 м., что обеспечивает человеку возможность оставаться безопасно на междопутии при скрещении поездов.

При установке столбов по оси междопутия расстояние это возрастает до 1,45 м. и от столба до габарита вагона — 0,500 м.



Черт. 315 а.

Габарит Ораниенб. эл. жел. дор. при расположении столбов на оси междопутия, по проекту 1913 г.

Расстояния габарита вагона до строений, столбов, тротуаров и пр. принимаются следующие:

до тротуаров	минимум	0,3 м.,
„ столбов	„	0,3 м. — 0,5 м.,
„ домов	„	1,40 м.,
„ деревьев	„	1,25 м. — 2,25 м.

Из рассмотрения приведенных размеров можно установить некоторое приближение к нормам. Казалось бы, что для городских трамваев можно принять следующие нормы:

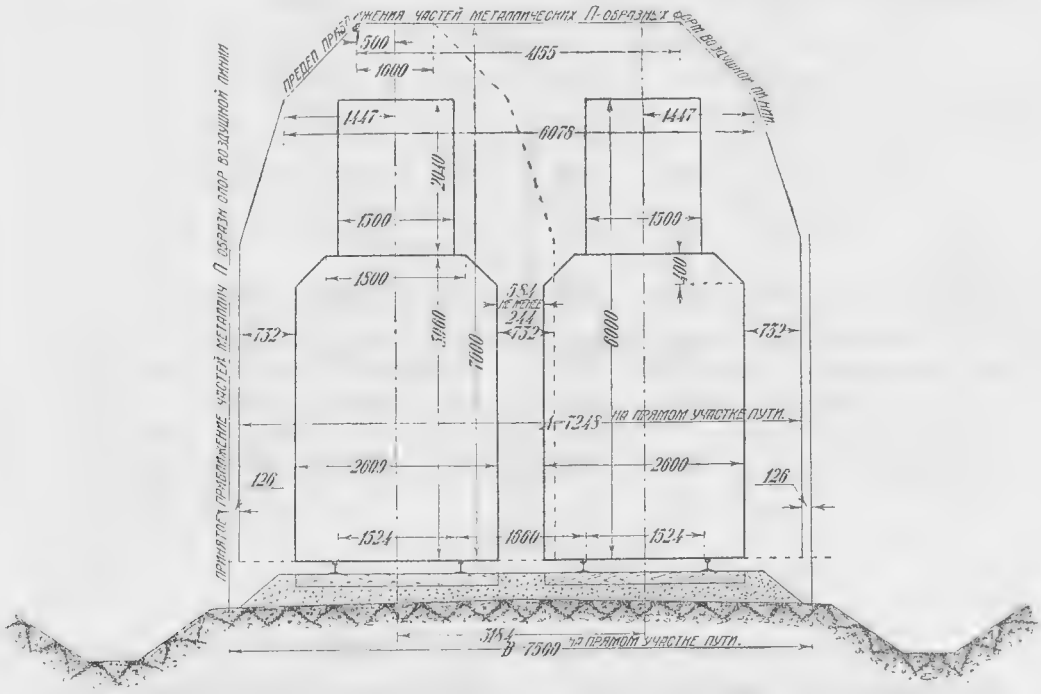
1) Для больших городов, при оживленном уличном движении и большой частоте движения поездов, следует принять расстояние между габаритами вагонов 0,75 м., при отсутствии столбов воздушной линии на междопутии, и 0,5 м. до столба при установке их по оси междопутия.

2) На улицах с меньшим движением, при частоте движения вагонов — 5 минут, можно уменьшить расстояние между габаритами вагонов до 0,5 м. и до столба до 0,3 метра.

3) Минимальное допускаемое расстояние между габаритами вагона, до столбов и тротуаров принято в 0,3 м.

4) Расстояние от габарита вагона до домов, как минимум, 1,4 метра.

5) Расстояние от габарита вагона до деревьев, в зависимости от размера кущи, 1,25 — 2,25 м.



Черт. 315 b.

Предел приближения опор воздушной линии трамвая и пригородных эл. жел. дор.

На чертеже 313 представлен габарит подвижного состава и приближения строений Ленинградского трамвая.

Пригородные железные дороги находятся в иных условиях: полоса занятая путями изолирована и недоступна ни для пешеходного, ни для экипажного движения, поэтому нормы установленные долголетним опытом магистральных железных дорог для них вполне подходящи.

На чертеже 314 показаны в совмещенном виде гибарит подвижного состава и приближения строений магистральных железных дорог (пунктиром) и габарит пригородной Ораниенбаумской электрической железной дороги, утвержденный, как нормальный, бывшим МПС (сплошной линией).

Данный габарит пригор. эл. ж. д. утвержден для участков с выделенным полотном, где применены П-образные опоры для воздушной линии.

На участках, проложенных по оси улиц, при установке столбов воздушной линии по оси междопутия, расстояние между габаритами вагонов вместо 580 мм. принято 1165 мм., что дает от столба до вагона расстояние около 382,5 мм. (черт. 315-а).

На закруглениях малых радиусов, в зависимости от вылета вагона, габарит соответственно увеличивается.

В нижеследующей таблице приведены расстояния между вертикальными столбами П-образных опор воздушной линии в зависимости от радиуса кривой (черт. 315-b).

R метр	*A* мм.	*B* мм.	*R* метр	*A* мм.	*B* мм.
200	7248	7500	30	7456	7708
150	7250	7502	24	7509	7761
100	7276	7528	20	7629	7881
75	7300	7552	15	7783	8035
60	7326	7578	12	7896	8148
50	7350	7602	10	8048	8300
40	7388	7640			

Остается сказать о расстоянии между габаритами вагонов, которое принимается на парковых путях и в вагонных сараях. Средние нормы можно выразить в следующем виде:

	Расстояние между габаритами вагонов	Расстояние от вагона до столба	Расстояние от вагона до стены
Производится мелкий ремонт	2200 мм.	1100 мм.	3000 мм.
Ремонт не производится .	1000 мм.	700 мм.	1000 мм.

Продольный профиль.

Как уже было указано выше, укладка пути в пределах улицы обязывает следовать ее продольному профилю, поэтому подъемы и уклоны городских железных дорог неизбежно имеют значительную величину.

Так, мы имеем следующие данные о подъемах на трамвайных путях:

Лондон и Берлин	0,045,
Кельн	0,050,
Ленинград (мосты) и Гамбург . .	0,055,
Вена	0,066,
Манчестер и Ливерпуль	0,072,
Гаага	0,084,
Киев	0,093,
Шеффильд	0,105,
Москва	0,109,
Смоленск	0,110,
Лидс (Англия)	0,119.

Со стороны двигателя в преодолении указанных подъемов препятствий не встречается; предельные же подъемы обуславливаются силой сцепления бандажей с рельсами, и потому общий вес вагона-мотора, нагрузка на ось и тип ходовых частей имеют большое значение.

Действительно, наибольшее тяговое усилие, которое может развить моторный вагон по условиям сцепления колес с рельсами, может быть выражено в таком виде:

$$F = \alpha . P . 1000 . 2, \text{ где}$$

P — нагрузка на ось в тоннах,
α — коэффициент сцепления.

Обычно принимают α равным от $^1/_5$ до $^1/_7$, и при гололеде $\alpha = {}^1/_{10}$.
Сопротивление движению моторного вагона:

$$W = 2P(f + i), \text{ где}$$

P — нагрузка на ось в тоннах,
i — величина подъема в тысячных долях,
f — величина сопротивления на одну тонну нагрузки в кгр., на горизонтальном пути принимают для рельсов:

„Феникс“ $f = 12$ кгр.,
„Виньоль“ $f = 8$ кгр.

Для движения вагона необходимо, чтобы

$$F \geq W.$$

Отсюда можно определить i максимум:

положим $P = 7{,}5$ тонн; $f = 12$ кгр.; $\alpha = {}^1/_6$,

тогда $P(f+i) = \alpha \,.\, P \,.\, 1000$; $f + i = 1000 \,.\, \alpha$; $i = 1000 \,.\, \alpha - f$.

Тогда $i = 1000 \,.\, {}^1/_6 - 12 = 0{,}155$.

Значение i при гололеде:

$$i = 1000 \,.\, 0{,}1 - 12 = 0{,}088.$$

Полученное максимальное значение подъема $i = 0{,}155$ следует понизить до 0,110—0,120, имея в виду возможность остановки на подъеме и сопряженное с ней добавочное сопротивление при трогании с места.

В случае поезда, состоящего из одного моторного и одного прицепного вагона, получим:

$$W = 2\,(P+G)\,.\,(f+i), \text{ где}$$

P — нагрузка на движущую ось в тоннах,
G — „ „ свободную „ „ „

или:

$$(P+G)\,.\,(f+i) = \alpha \,.\, P \,.\, 1000, \text{ откуда}$$

$$i = \frac{1000 \,.\, \alpha \,.\, P - f(P+G)}{P+G}.$$

Примем $P = 7{,}5$ тонн; $G = 5$ тонн; $\alpha = {}^1/_6$; $f = 12$ кгр., тогда:

$$i = \frac{1000 \,.\, {}^1/_6 \,.\, 7{,}5 - 12 \,.\, (7{,}5+5)}{(7{,}5+5)} = 0{,}088,$$

в случае гололеда, при $\alpha = 0{,}1$,

$$i = \frac{1000 \,.\, 0{,}1 \,.\, 7{,}5 - 12 \,.\, 12{,}5}{12{,}5} = 0{,}048.$$

Таким образом, мы видим, что предельные уклоны по условиям сцепления могут быть допущены:

для одного моторного вагона $i = 0{,}155$,
„ „ поезда (1 моторн. и 1 приц. ваг.) $i = 0{,}088$.

Влияние гололеда может быть уменьшено посыпкой рельсов песком.

Добавочное сопротивление на кривых может быть выражено для первоначальных подсчетов формулой:

$$i_k = 400 \frac{a}{R} \text{ кгр., где}$$

a — ширина колеи,
R — радиус кривой.

В Пруссии предельный подъем принят $i = 0{,}067$.

Профессор Стецевич, учитывая изменение коэффициента α, рекомендует избегать подъема более 0,075, в виду опасности при спусках и подъемах в случае порчи тормазов.

При совпадении подъема с кривой следует учитывать добавочное сопротивление и соответственно уменьшить величину подъема i.

Для пригородной железной дороги (Ораниенбаумск. эл. жел. дор.) в свое время было установлено, что предельная крутизна уклона продольного профиля не должна превышать 0,070, причем, при переходе от одного уклона к другому, они должны быть сопряжены в вертикальной плоскости кривыми радиуса не менее 2000 м., или таким образом, чтобы разница уклонов двух последовательных рельсов была не более 0,010.

Приведем таблицу, примененную на Ораниенбаумской электрич. ж. д. для разбивки сопрягающих кривых при $R = 1000$ саж.

Абсцисса в саж.	5	10	15	20	25	30
Ордината в саж.	0,0125	0,0500	0,1125	0,2000	0,3126	0,4500

При совмещении с кривой величина уклона должна быть соответственно уменьшена. Как видно, нормы предельных уклонов Прусские и утвержденные Инженерным Советом для пригородных железных дорог трамвайного типа (состав поезда Ораниенбаумской эл. ж. д. 2 вагона: 1 — моторный и 1 — прицепной и 4 вагона: 2 моторных вагона по краям и 2 прицепных по середине) близко подходят друг к другу, и казалось бы, что $i = 0{,}070$ можно принять, как предельный подъем для трамваев, причем отступления от этой нормы в особо трудных местах могут быть допущены лишь с особого разрешения компетентного органа.

План линий.

В главе о кривых мы уже видели, что радиусы закруглений по условиям плана города должны быть весьма малы.

Встречающиеся на практике минимальные радиусы закруглений следующие:

Женева (метровая колея) . . . $R = 9 - 10$ м.,
Гаага, Лидс и Манчестер . . . $R = 9{,}6 - 10{,}7$ м.,
Шеффильд и Ливерпуль . . . . $R = 13{,}7$ м.,
Ленинград . . . . . $R \doteq 14$ м.,
Вена . . . . . $R = 18$ м.

В Пруссии предельный радиус на главных путях $R = 15$ м.

В главе „Ходовые части подвижного состава“ мы уже указали соотношения между глухой базой и радиусом кривой.

При существующих типах подвижного состава можно принять предельный радиус закруглений на главных путях трамваев $R \geq 15$ м., при чем отступления от этой нормы могут быть допущены при условии поверочного расчета элементов кривой, в зависимости от размеров ходовых частей подвижного состава.

Для пригородных железных дорог, (Ораниенб. жел. дор.), Инженерным Советом были утверждены: для главной линии на перегонах $R \geq 40$ м., на станциях, разъездах и в пределах городов и селений $R \geq 20$ м., при условии соответственного типа подвижного состава.

Нормы эти вполне отвечают реальным требованиям, но если бы можно было ввести дальнейшее облегчение, то следовало бы принять при проходе линий в городах и селениях, по аналогии с трамваями, минимальный радиус $R = 15$ м.

Кроме того, Инженерным Советом, по аналогии с железными дорогами нормального типа, добавлены два условия:

1) Между двумя закруглениями на перегонах, направленными в противоположные стороны, должна быть помещена прямая вставка в 10 метров, со вставкой переходных кривых.

2) Точки перехода линии из прямой в кривую и из кривой в кривую другого радиуса не должны совпадать с точками перелома продольного профиля.

Относительно первого условия можно заметить, что следовало бы более определенно отметить характер переходных кривых и поставить начальный радиус переходной кривой в зависимость от скорости движения и ускорения.

Вспомнив соображение, приведенное в главе „Кривые", следует определенно сказать, что на всех кривых радиуса $R \leq 500$ м. должны быть помещены переходные кривые, разбитые по спирали (сложная кривая) с начальным радиусом $R \geq 1.5 v^2 (1 + \frac{L}{l})$, где v — скорость движения в метрах в секунду,

L — длина вагона в метрах,

l — расстояние в метрах между осями двухосного вагона или между центрами двухосных тележек для четырехосного вагона.

Приведенная формула представляет собой упрощенную формулу

$$R_1 = \frac{v^2}{\dot{v}} (1 + \frac{\xi}{l}),$$

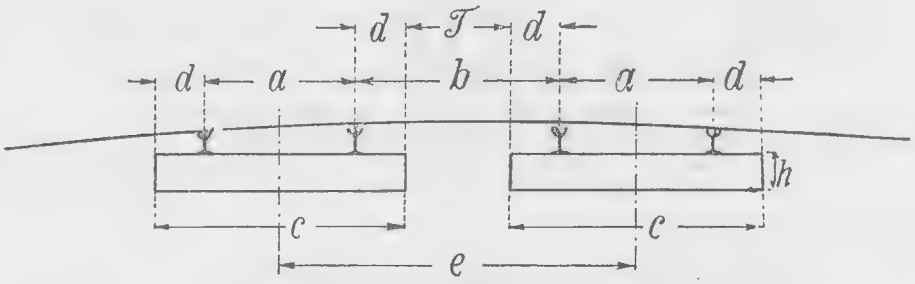
где ускорение $\dot{v}$ — принято равным $0{,}33 \frac{\text{м.}}{\text{с}^2}$ и

$$\xi = \frac{L - l}{2}.$$

Эта же норма может быть принята и для трамваев.

Поперечные профиля оснований, балластного слоя и полотна.

В главе „Основания“ даны размеры, применяемые в трамваях; здесь укажем принятые нормы в зависимости от ширины колеи и размеров габарита. На чертеже 316 представлен поперечный разрез двупутной линии городской укладки.



Черт. 316.

Двупутная линия городской укладки.

Ширина основания c зависит от ширины колеи a и типа основания, причем за исходную норму правильнее всего принимать длину шпал, а именно:

при $a = 1524$ мм., длина шпал $= 2{,}45$ м.
$= 1000$ „ „ „ $= 1{,}80$ „

Для бетонных и щебеночных оснований, ширина основания равна длине шпалы $c = l$, при шпальных основаниях $c = l + 2 . 0{,}15$ м. Исходя из этого принципа, мы получим следующие размеры.

ТИП ОСНОВАНИЙ.	Ширина колеи a мм.	Ширина основания c мм.	Обочины d мм.	Длина шпал
Щебеночные и бетонные	1524	2450	463	нет
„ „	1000	1800	400	нет
Шпалы	1524	2750	613	2450
„	1000	2100	550	1800

Толщина основания, как было уже указано, зависит от нагрузки на ось, интенсивности экипажного и трамвайного движения и качества грунта. Во всяком случае, как предельные нормы, можно принять:

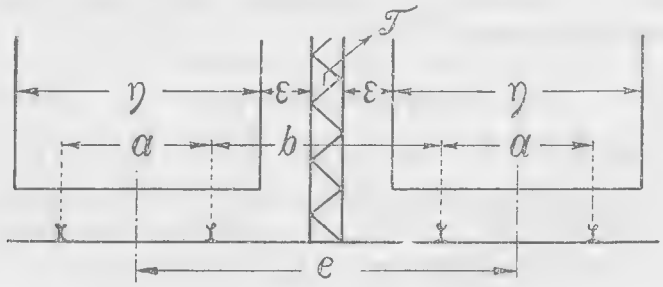
при щебеночных и бетонных основаниях $h \geqq 250$ мм.,

при шпальных основаниях . . . . . $\geqq h_1 + 150$ мм., где

h_1 — толщина шпалы, ($h_1 = 6'' = 150$ мм.).

Расстояние между осями путей и ширина междопутия зависят от ширины колеи, принятых размеров габарита и места установки столбов.

Как видно из чертежа, расстояние между осями путей $e = b + a$.



Черт. 317.

Расположение столбов по оси междопутия.

Что же касается ширины междопутия, то размеры его приведены в нижеследующих таблицах.

ТАБЛИЦА I.

Столбы воздушной линии размещены по оси междопутия при ширине столба 400 мм. (черт. 317).

Ширина колеи a	Ширина междопутия b и расстояние между осями путей e	Ширина вагона η в миллиметрах							
		1800		2000		2200		2400	
		Расстояние от столба до габарита вагона ε							
		500	300	500	300	500	300	500	300
1524	e	—	—	—	—	3600	3200	3800	3400
	b	—	—	—	—	2076	1676	2276	1876
1000	e	3200	2800	3400	3000	—	—	—	—
	b	2200	1800	2400	2000	—	—	—	—

ТАБЛИЦА II.

Столбы воздушной линии размещены у тротуаров (черт. 318).

Ширина колеи a	e и b	Ширина вагона η: 1800			2000			2200			2400		
		Расстояние между габаритами вагонов T											
		750	500	300	750	500	300	750	500	300	750	500	300
1524	e	—	—	—	—	—	—	2950	2700	2500	3150	2900	2700
	b	—	—	—	—	—	—	1426	1176	976	1626	1376	1176
1000	e	2550	2300	2100	2750	2500	2300	—	—	—	—	—	—
	b	1550	1300	1100	1750	1500	1300	—	—	—	—	—	—

Для случая первого: 1) Расстояние между осями путей:

$$e = \eta + 2\varepsilon + T.$$

2) Ширина междопутия $b = e - a$,

где η — ширина вагона,

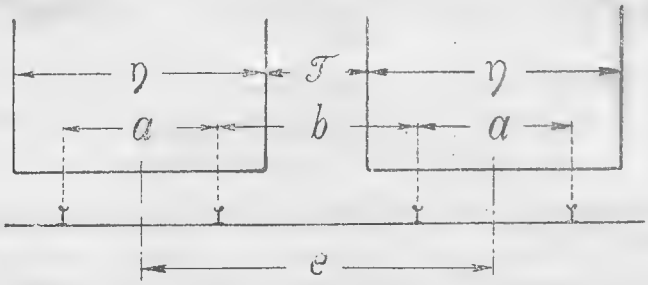
ε — расстояние от габарита вагона до габарита столба,

T — ширина столба.

Для случая второго: 1) Расстояние между осями путей:

$$e = \eta + T,$$

2) Ширина междопутия $b = e - a$.



Черт. 318.

Расположение столбов у тротуаров.

В поперечном профиле пути трамваев обычно не дают общих уклонов и головки рельсов укладывают на одном уровне; для стока воды с поверхности мостовой междопутия и пути ей придают выпуклый профиль в 0,01 от ширины междопутия b и пути a.

Таким образом, середина мостовой на пути будет выше головок рельса

на 15 мм. при $a = 1524$ мм.
„ 10 мм, при $a = 1000$ мм.

Начиная от наружного рельса, дается общий поперечный уклон улицы (см. черт. 319).

Для пригородных железных дорог форма поперечных профилей полотна и балластного слоя та же, что и для железных дорог нормального типа.

Черт. 319.

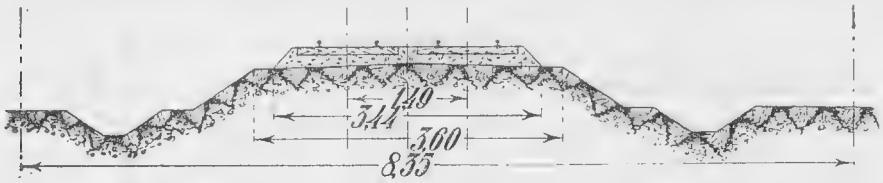
Попер. профиль улицы при укладке трамвайных путей.

Различие заключается лишь в размерах. Длина шпал в виду больших скоростей движения принимается:

при ширине колеи 1524 мм. — длина шпал $l = 2667$ мм. $= 1{,}25$ с.
„ „ „ 1000 мм. — „ „ $l = 1800$ мм. — 1900 мм.

Размеры полотна следующие:

На чертежах 320-а и 320-b представлены поперечные профиля двупутной линии в насыпи и выемке, утвержденные в 1913 г. Инженерным Советом



Черт. 320-а.

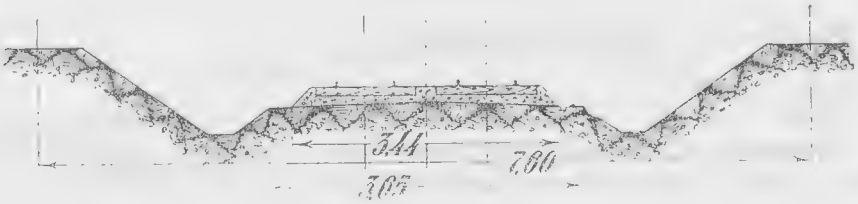
Поперечн. профиль двупутн. участка
Ораниенб. эл. жел. дор. в насыпи.

для Ораниенбаумской электрической железной дороги, как нормальные для дорог подобного типа.

Ширина междопутия и расстояние между осями путей определены, исходя из ширины вагона $\eta = 2600$ мм.

Расстояние между габаритами вагонов $T = 580$ мм.

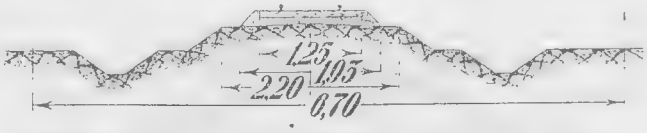
Формула для подсчета величин η и T остается та же, что и для городских железных дорог.



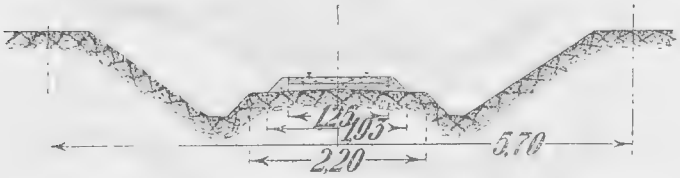
Черт. 320-b.

Поперечн. профиль двупутн. участка
Ораниенб. эл. жел.-дор. в выемке.

На чертежах 321-a и 321-b изображены нормальные поперечные профиля для той же дороги для однопутных участков.



Черт. 321-a.



Черт. 321-b.

Поперечн. профиля однопутного участка
Ораниенб. эл. жел. дор. в насыпи и выемке.

На чертеже 322 представлены нормальные поперечные профиля, принятые в Америке при разных условиях грунта.

Сравним наиболее важные размеры приведенных профилей (см. ч. 323 и 324).

1. Ширина балластного слоя по верху: $c = e + l + 2m$.

Величина m по техническим условиям, утвержденным Инженерным Советом,

$$m = 0{,}075 \text{ с.} \geq 160 \text{ мм.}$$

В нормальных поперечных профилях Ораниенб. эл. жел. дор.

для двух путей $m = 0.08$ с. $= 171$ мм.
„ одного пути $m = 160$ мм.

В Американских нормальных профилях:

$$m = 1' = 305 \text{ мм.}$$

На магистральных железных дорогах:

$$m = 267 \text{ мм.}$$

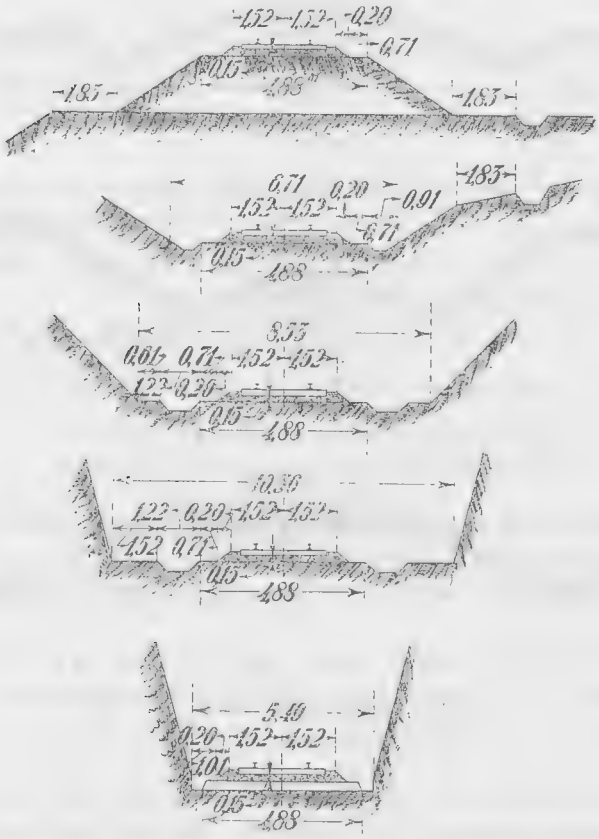
Принимая во внимание недостаток места и высокую стоимость отчуждения земель, сопряженную со сносом зданий, следует принять:

$$m \geq 0{,}075 \text{ с.} \geq 160 \text{ мм.}$$

2. Ширина балластного слоя по низу

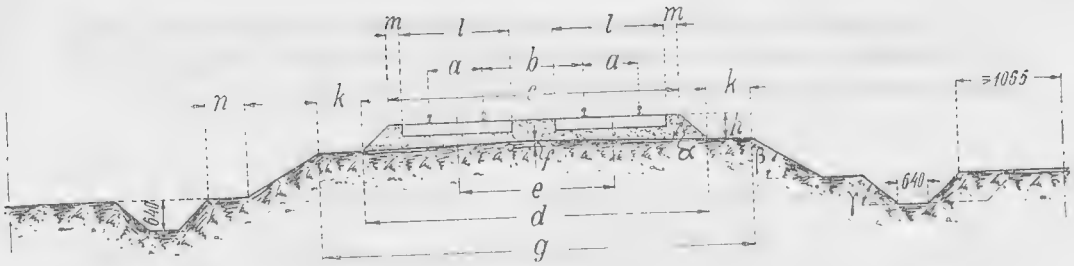
$$d = c + 2h\,tg\,\alpha, \text{ где}$$

h — толщина балласта под подошвой рельса,
α — угол откоса балластного слоя.



Черт. 322.

Нормальные поперечные профиля в Америке.



Черт. 323.

Размеры нормальных поперечных профилей насыпи.

Черт. 324.

Размеры нормальных поперечных профилей выемки.

Соответственные размеры для одиночного пути приведены в нижеследующей таблице.

ТАБЛИЦА.

	Длина шпал l	Величина m	Толщина балласта h	Угол откоса $tg\,\alpha$	Ширина балласта. по верху c	по низу d
Минимум по техн. условиям	2454=1,15 с.	160	261	$1^1/_4:1$	2774	3427
Ораниенбаум. ж. д. . . .	2668=1,25 с.	160	215	$1^1/_4:1$	2987	3525
Американск. пр. I	2438=8′	305	305	4:3	3048	3456
„ „ II	2438=8′	0	482	2:1	2438	4672
По условиям передачи давления от шпал . .	2668=1,25 с.	160	455	$1^1/_2:1$	2988	4353

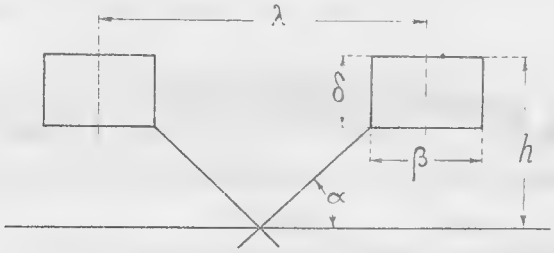
В последней графе толщина балластного слоя определена по условиям передачи давления от подошвы шпалы через балласт на всю поверхность полотна, считая угол передачи давления 45° (см. ч. 325), т.-е.

$$h = \frac{\lambda - \beta}{2} tg\,\alpha + \delta; \text{ при расчете принято}$$

$$\lambda = 800 \text{ мм.}, \quad \beta = 3{,}5b = 155 \text{ мм.}; \quad \delta = 3b = 133 \text{ мм.}; \quad tg\,\alpha = 1$$

$$h = \frac{800 - 155}{2} \cdot 1 + 133 = 457 \text{ мм.} \backsim 455 \text{ мм.}$$

При расчете ширины балласта по низу необходимо исходить из наибольшей толщины балластного слоя, так как в зависимости от ширины балласта по низу рассчитывается ширина полотна, и при недостаточной ширине нельзя будет произвести досыпку балласта до полной высоты. В начале постройки, обычно, толщина балласта делается менее проектной и уже при эксплоатации доводится до полной величины.



Черт. 325.

Распределение давления в балластном слое.

Поэтому следует принимать проектную величину балластного слоя, определенную по формуле:

$$h = \frac{\lambda - \beta}{2} tg\,\alpha + \delta.$$

Приняв эти размеры, мы получим данные для определения ширины полотна g в зависимости от ширины бровки k.

Ширина бровки принята на Оран. эл. жел. дор.:

для двупутных участков . . . $k = 0{,}21$ с. $= 225$ мм.,
„ однопутных „ . . . $k = 0{,}135$ с. $= 288$ мм.

В Американских профилях:

Тип I для насыпей и выемок . . $k = 2'4'' = 712$ мм.,
„ II „ насыпей . . . . . $k = 2'4'' = 712$ мм.,
„ II „ выемок . . . . . $k = 1' = 305$ мм.

Имея в виду значение бровки для склада материалов (шпал, рельсов, щебня, скреплений) при ремонте, следовало бы принять:

Для двупутных линий . . . . . $k \geq 500$ мм.
„ однопутных „ . . . . . $k \leq 500$ мм.

Суммируя вышеприведенные данные, приведем размеры балластного слоя и ширины полотна в следующей таблице:

Толщина балластного слоя $h = \frac{\lambda - \beta}{2} + \delta = 455$ мм.

Ширина колеи a	Однопутная линия: Длина шпалы l	Ширина балласта по верху c	Ширина балласта по низу d	Угол откоса $tg\,\alpha$	Ширина бровки k	Ширина полотна g	Двупутная линия: Длина шпалы l	Ширина балласта по верху c	Ширина балласта по низу d	Угол откоса $tg\,\alpha$	Ширина бровки k	Ширина полотна g
1524	2670	3010	4375	$1^1/_2:1$	500	5375	2670	6190	7555	$1^1/_2:1$	500	8555
1000	1800	2140	3505	$1^1/_2:1$	500	4505	1800	5320	6685	$1^1/_2:1$	500	7685

Для определения размеров двупутной линии взяты данные Ораниенбаумской электрическ. ж. д., т.-е.

Ширина вагона — $\eta = 2600$ мм.
Расстояние между габаритами — $T = 580$ мм.
„ „ осями — $c = 3180$ мм.
$m = 170$ мм.

По техническим условиям для пригородных железных дорог утверждено для колеи $a = 1524$ мм.:

для однопутной линии $g \geq 2.15$ с. ≥ 4588 мм.,
„ двупутной „ $g \geq 3.62$ с. ≥ 7725 мм.

Таким образом, имеем:

ШИРИНА ПОЛОТНА g при $a = 1524$ мм.	Ораниенбаумск. электр. жел. дор.	По таблице	По техн. услов.
Однопутная линия	4695	5775	4588
Двупутная линия	7789	8555	7725

Приведенные в таблице размеры желательны в техническом отношении, но экономические соображения часто заставляют отступать от них и применять нормы, близкие к предельным, указанным в технических условиях.

Остальные размеры полотна указаны на чертежах и пояснений не требуют.

При сооружении пути по обрезам или обочинам шоссе необходимо предусмотреть безопасность движения по шоссе и возможность отвода дождевых вод.

Приводим наиболее существенные §§ из технических условий, утвержденных для Ораниенбаумской электрической железной дороги.

Приложение I к техническим условиям сооружения Ораниенбаумской электрической железной дороги.

Условия пользования полосою шоссе.

1) При укладке путей вдоль шоссе предоставляется: а) полоса обреза шоссейной дороги от шоссейной канавы до границы обреза, находящейся в расстоянии 15,00 саж. от оси шоссе, б) обочина шоссе, причем, при устройстве на ней пути, боковая канава должна быть проложена между шоссе и полотном трамвая; отнесение ее за пределы пути не может быть допущено в силу того соображения, что при таком удалении уничтожается дренирующее действие канавы на полотно шоссе. В виду, однако, узкости места и технической невозможности устроить канаву с нормальными откосами, признается возможным допустить канавы, кроме нормального типа, там где не хватает места, еще следующих типов: а) канавы шириной по дну 0,25 саж. с откосами 1:1 и 1:0,75 при условии замощения канав булыжным камнем на мху; б) дренажные канавы с отвесными стенками, обделанными деревом или иным материалом (сухая кладка и пр.), с шириной по дну 0,30 саж.; глубина канав во всех случаях определяется по данным нивеллировки в зависимости от отводных канав, но при этом не должна быть менее 0,25 саж.

Примечание 1. При прокладке путей по полотну шоссе в населенных местах пути должны располагаться по оси шоссе. Расположение их в населенных местах по обочинам допускается лишь в исключительных случаях и притом не иначе, как с разрешения Правительственного Инспектора.

На участке шоссе, где пути будут уложены по обочине, признается возможным в случае крайней необходимости (при невозможности занять часть обреза под пути) допустить занятие каменной одежды не свыше, однако, 1,00 саж., при условии, чтобы остающаяся часть была не менее 4,00 саж. чистого проезда для экипажей, и чтобы в будущем, при увеличении проезда по соответствующим участкам шоссе свыше 2.500 лошадей в сутки, ширина эта была увеличена распоряжением Общества Ораниенбаумской электрической железной дороги до 5,00 саж. устройством мощеной ленты на противоположной обочине, причем профиль шоссе в том и другом случае должен быть исправлен россыпями щебня с кирковкой щебеночной

хоры на толщину, необходимую для придания правильного профиля поверхности шоссе; от обязательства по уширению проезжей части шоссе до 5,00 саж. Общество освобождается в том случае, если при постройке электрической дороги обрезы будут застроены в пределах ныне существующей свободной полосы.

2) Принимая во внимание условия движения вагона при укладке путей по середине шоссе, вопрос о необходимой ширине каменной одежды должен быть решен в зависимости от габарита подвижного состава электрической железной дороги, полагая расстояние от края габарита подвижного состава электрической железной дороги до края каменной одежды шоссе 1,50 саж., в крайнем же случае, где соблюдение такового условия окажется затруднительным, не менее 1,33 саж., причем, в случае необходимости уширения каменной одежды, таковое осуществляется в виде мощенных лент по обе стороны шоссе.

3) Переходы пути железной дороги с одной стороны шоссе на другую должны быть сделаны на возможно меньшем протяжении, т.-е. кривыми возможно малого радиуса с наименьшими прямыми вставками между ними.

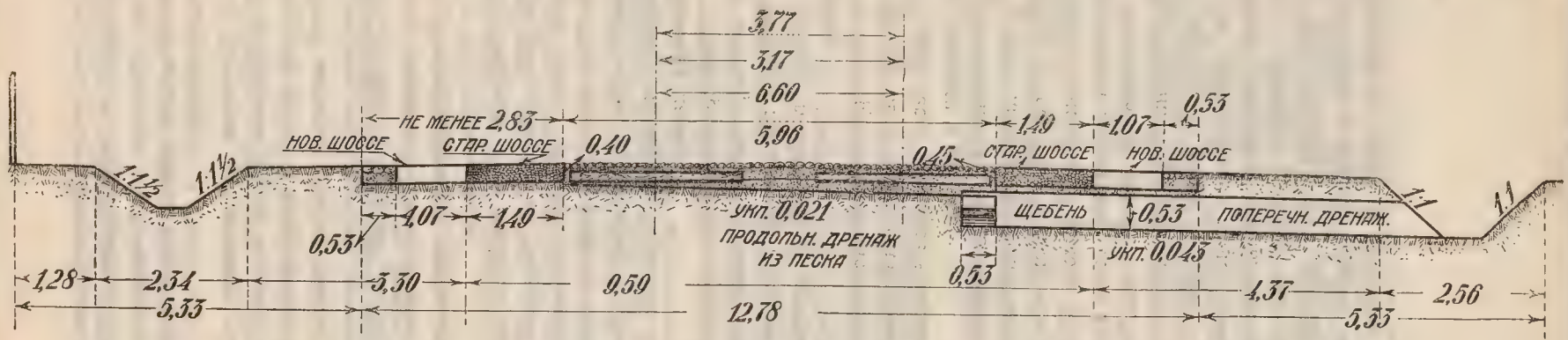
4) При переходе путей железной дороги с обочин на обрезы часть дорожных канав, покрываемых путями, должна быть заменена трубами из долговечного материала, сечением соответственно пропускной способности покрываемых канав.

5) При проходе железной дороги по оси полотна Петергофского шоссе в тех местах, где продольный профиль дороги не вполне совпадает с существующим продольным профилем шоссе, в поперечном профиле должны быть сделаны такие уклоны, которые не препятствовали бы экипажному движению.

6) При проходе железной дороги по оси шоссе середина между путями должна быть замощена булыжным камнем размером от 2 до 3,5 вершков на слое песку не менее 4 вершков, считая эту толщину в промежутке между шпалами и вне их.

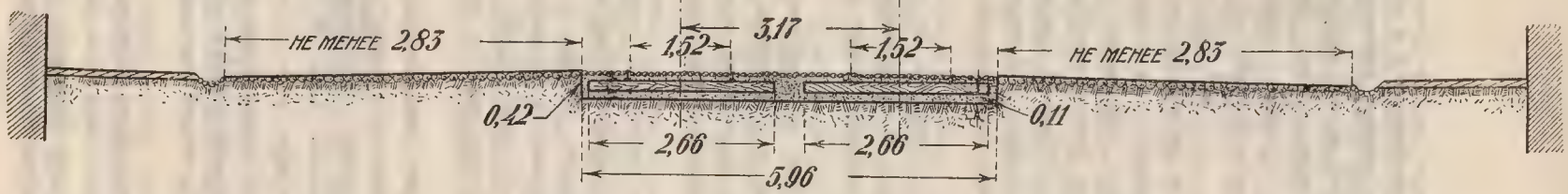
В остальной части щебеночной одежды и прилегающих обочин должен быть устроен дренаж. Допуская на горизонтальных участках и на участках с уклоном по оси 0,01 возможность одностороннего дренажа, с приданием дну ящика поперечного уклона в 0,01, расстояние между поперечными дренирующими воронками, если дренирующим слоем будет песок, должно быть назначено не более 5 саж., причем воронки эти (долженствующие при одностороннем дренаже отвести вдвое большее количество воды) должны иметь ширину не менее 0,5 саж. и глубину в 0,25 саж.

При употреблении более совершенного по дренирующим свойствам материала (например, щебня или крупного гравия — чуры) и при тех же уклонах земляного полотна, расстояние между поперечными воронками может быть допущено в 10 саж.; как в том, так и в другом случае должны быть устроены в нижней стороне ящика продольные ящики с уклоном в обе стороны для песка в 0,02 саж. и в 0,015 и с заложением дна их в



Черт. 326.

Укладка путей по оси шоссе.



Черт. 327.

Укладка путей по оси шоссе.

высшей точке на 0,10 саж. ниже дна ящика; ширина продольной воронки должна быть для песка и щебня не менее 0,25 саж., ширина же поперечных воронок при дренаже из щебня не менее 0,33 саж. На участках шоссе с продольным уклоном более 0,01 достаточно устроить поперечный щебеночный дренаж с расстоянием между воронками в 15 саж., причем воронки, располагаемые поперек всей вновь замащиваемой части шоссе и одной из обочин, должны быть заложены на 0,10 саж. ниже дна ящика и при уклоне в 0,02 иметь ширину в 0,50 саж. и высоту 0,25 саж.

Во всех случаях поперечные дренажные воронки должны быть прикрыты рогожами. Указанные выше глубины заложения воронок и приданые им уклоны определены при наличности боковых канав глубиной 0,5 саж. и при условии, что дно поперечных воронок будет не ниже дна боковых канав, в противном случае, т.-е. при меньшей глубине канав допускается соответствующее уменьшение уклонов дренажных воронок.

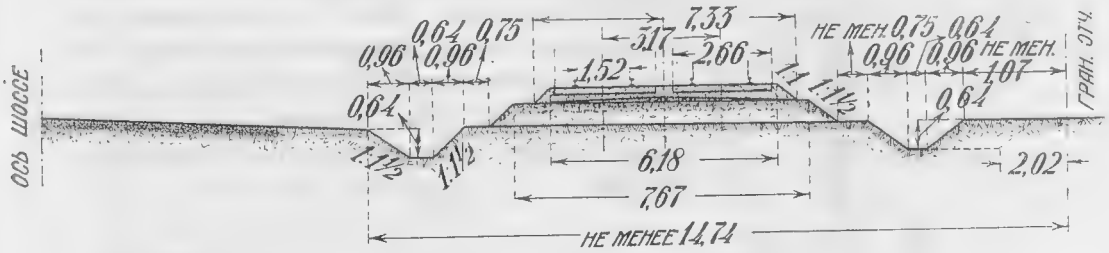
Требование об устройстве дренажа по одному из указанных типов относится также и к случаю расположения пути по середине мостовой, если при последнем явится необходимость в заложении ящика для балластного слоя ниже дна существующего под мостовой балласта.

7) При прокладке путей по обочине шоссе таковая должна быть ограждена соответствующими барьерами, тип коих утверждается Инспектором по постройке.

Там же, где владельцы прилегающих усадьб имеют право непосредственного выезда на шоссе, должны быть приняты Правлением Общества особые меры для обеспечения им такового выезда.

На чертежах 326 и 327 показаны утвержденные поперечные профиля при укладке пути по оси шоссе.

На чертежах 328 и 329 нормальные утвержденные профиля при укладке по обочине и обрезам шоссе.



Черт. 328.
Укладка путей по обрезам шоссе.

На чертежах 330 и 331 утвержденные поперечные профиля при укладке пути по оси улицы, с выделением из проезжей части.

Этот последний тип укладки применен на Путиловском шоссе, за Нарвской заставой.

Шпалы.

Шпалы для городских железных дорог обычно применяются сечением $6'' \times 8''$, что составляет 150 × 200 мм., или пластинные при толщине 3 в. и ширине постели не менее $3^1/_2$ в. Длина шпал, как уже было указано:

На городских ж. д. при ширине колеи:

1524 мм.	длина шпал	2454 мм.
1000 „	„ „	1800 „

На пригородных ж. д. при ширине колеи:

1524 мм.	длина шпал . . .	2667 мм.
1000 „	„ „ . . .	1800 — 1900 мм.

Размещение шпал под рельсами и зарубка их показаны на прилагаемом чертеже 332.

Как видно из чертежа, расстояние между шпалами принято максимум 800 мм., при нагрузке на ось 10 тонн, скорости движения $60\frac{\text{клм.}}{\text{час.}}$ и рельсах „Виньоль“ весом 28 фунт. (в пог. футе).

На городских железных дорогах расстояние 800 мм. сохраняется.

Для трамваев малых городов с нагрузками на ось не более 5 тонн и применением легких профилей рельсов, при метровой колее, можно пользоваться данными подъездных путей паровой тяги, где применяются шпалы двухкантовые из $4^1/_2$ вершкового леса и пластинные из 5 вершкового леса, длина шпал 1800 мм.; поперечное сечение представлено на чертеже 333.

Расстояние между шпалами при рельсах 11 ф/ф. следует принять 640 мм. и в стыках — 575 мм.

Черт. 329.
Укладка путей по обочинам шоссе.

Рельсы, скрепления и конструкция укладки.

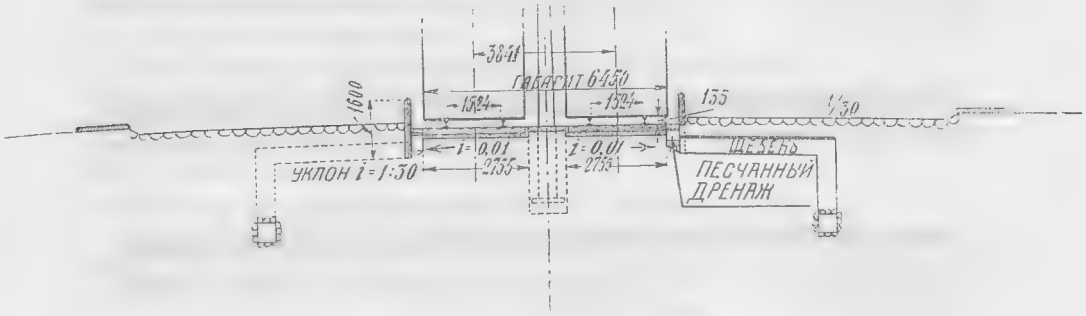
В главе о рельсах были указаны типы применяемых рельсов и скреплений. Здесь отметить лишь общие нормы и существующие технические условия.

При условиях наших мостовых следует поставить требования:

I. Булыжная мостовая:

а) при интенсивном движении экипажей и при толщине мостовой 4 вершка — высота рельса . . . . . $H \geqq 180$ мм.

б) при легком движении и толщине мостовой 3 вершка — высота рельса . . $H \geqq 135$ мм.



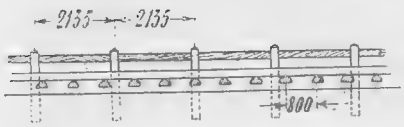
Черт. 330.

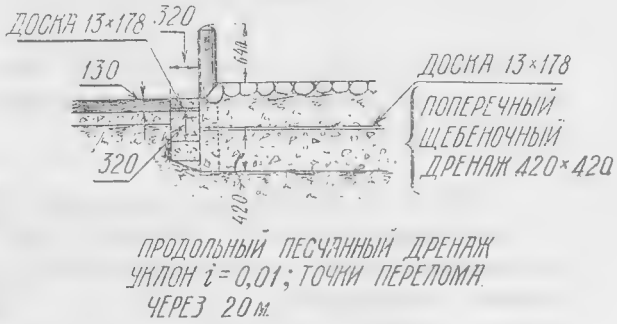
Укладка путей приг. жел. дор. по оси улицы.

II. При основании:

без шпал ширина подошвы рельса . . . $B \geqq 170$ мм.

со шпалами ширина подошвы рельса . . $B \geqq 150$ мм.





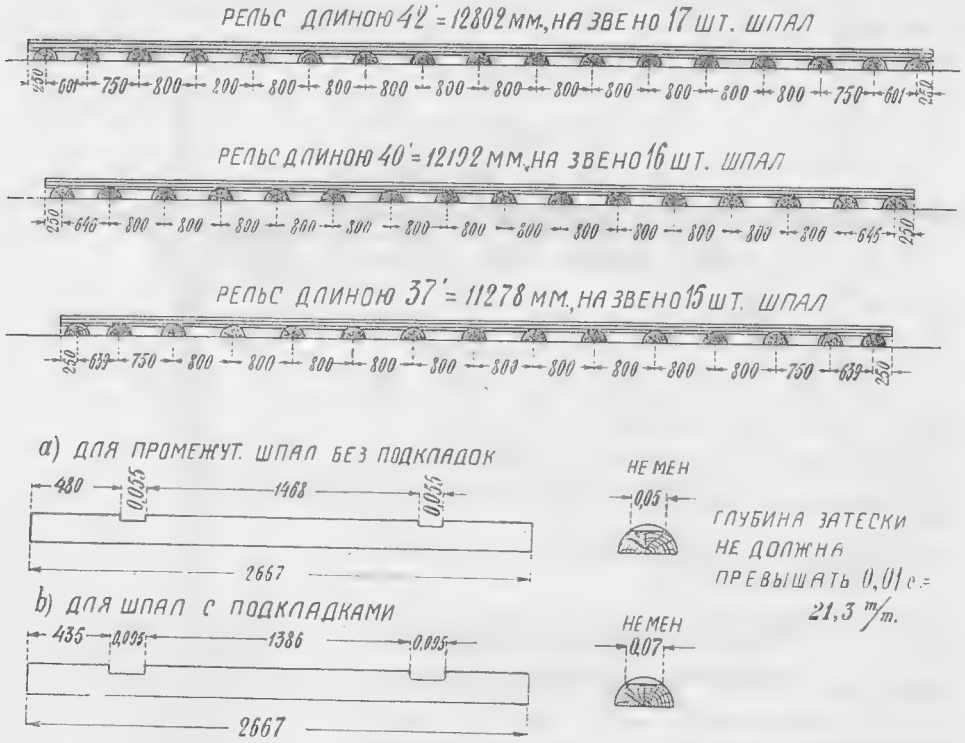
Черт. 331.

Укладка путей приг. жел. дор. по оси улицы.

Остальные размеры рельсов до нормировки их зависят от типа ходовых частей подвижного состава и условий движения и не могут быть определены общими правилами. Во всяком случае, по условиям экипажного движения, для городских укладок в пределах мостовых можно рекомендовать.

1) На центральных улицах с интенсивным экипажным движением обязательна укладка желобчатых рельсов типа „Феникс“, при ширине желоба на прямых от 30 до 32 мм. и на кривых от 35 до 40 мм.

2) На улицах второстепенных с малым движением, где продольная езда не происходит вдоль самых рельсов, можно применять рельсы типа „Виньоль“.



Черт. 332.

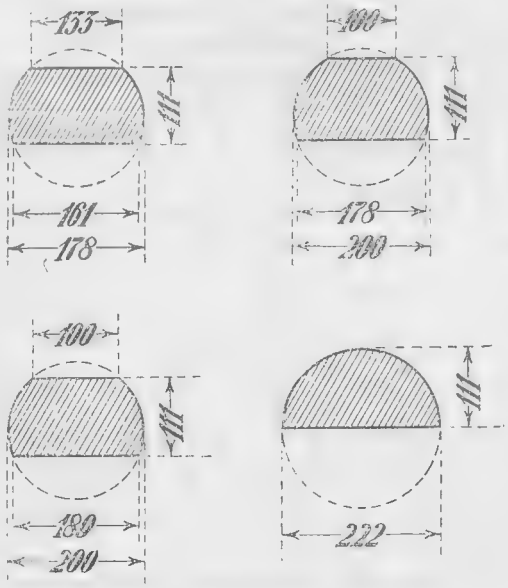
Размещение шпал под рельсами и зарубка их.

Относительно стыковых соединений, при замощении рельсовой колеи, в тех случаях, когда по условиям прочности можно применять укладку без зазоров, следует рекомендовать сварку рельсов термитом, как наилучший способ в техническом и экономическом отношении. При сварке надлежит строго исполнять вышеприведенные правила производства работ и сделать поверочный расчет прочности рельса в зависимости от дополнительных напряжений от продольного удлинения и сжатия.

Для пригородных железных дорог примером могут служить технические условия, утвержденные для Ораниенбаумской электрической жел. дор.: рельсы укладываются Виньолевского типа, стальные весом не менее 22.991 фунта в пог. футе, типа IV-а.

Рельсы укладываются со стыком на весу, с помещением на стыковых шпалах железных подкладок.

На кривых, описанных радиусом 50 и менее саженей, подкладки укладываются на всех шпалах; на кривых, описанных радиусом от 50 до 100 саженей, подкладки укладываются через две шпалы; при радиусах в 100 — 200 саж., укладываются по одной промежуточной подкладке на рельс, причем число последовательных шпал без подкладок не должно превосходить 5. На остальных шпалах кривых участков, описанных радиусом в 200 и более саженей, на которых не имеется подкладок, должно быть забито по добавочному костылю с внутренней стороны рельса. На всех мостах подкладки помещаются на каждой шпале.



Черт. 333.
Типы шпал.

На вышеприведенном чертеже 332 представлено размещение шпал под рельсами разных длин; расстояние между осями шпал не должно быть более 500 мм. в стыке и 800 мм. для промежуточных шпал.

Укладка шпал должна быть произведена так, чтобы оси шпал были перпендикулярны к оси пути и чтобы при двойном пути концы их со стороны бровки полотна были по шнуру.

Зазоры в стыках рассчитываются в зависимости от изменения температуры и длины рельса, по формуле:

$$\xi = 0{,}01348\ (35^\circ - t^\circ)\ l + 1 \text{ мм.},$$

где ξ — величина зазора в мм.,

0,01348 — коэффициент удлинения стали,

l — длина рельса в метрах,

t° — температура укладки,

из формулы видно, что при $t = 35^\circ$ зазор

$$\xi = 1 \text{ мм.}$$

В таблице приведены зазоры для рельса 42′, 40′ и 37′.

ДЛИНА РЕЛЬСОВ В ФУТАХ	ТЕМПЕРАТУРА УКЛАДКИ					
	10°	15°	20°	25°	30°	35°
42′	5,3	4,5	3,6	2,8	1,9	1
40′	5,1	4,3	3,5	2,5	1,8	1
37′	4,8	4,0	3,3	2,5	1,8	1

Приведем для сравнений таблицу зазоров Венских городских и пригородных железных дорог, где ξ рассчитано по формуле:

$\xi = 0{,}0118 \times l \times (40^\circ - t^\circ) + 2$ мм., где

ξ — зазор в миллиметрах,

l — длина рельса в метрах,

t° — температура укладки.

ДЛИНА РЕЛЬСОВ В МЕТРАХ	ТЕМПЕРАТУРА УКЛАДКИ				
	+35°	+20°	+5°	−5°	−20
15,0	3	6	8	10	13
12,5	3	5	7	9	11
10.0	3	4	6	7	9
9.0	3	4	6	7	8
7.5	2	4	5	6	7

Пришивка пути в развитие приведенного § Техн. Услов. определяется следующими правилами, как минимумом технических требований:

1) на прямом пути рельсы пришиваются к шпалам без подкладок двумя костылями, а в стыках 3-мя костылями с подкладками;

2) на кривых $R \geqq 100$ с. и $\leqq 200$ с. рельсы пришиваются тремя костылями (2 внутри и 1 снаружи колеи), и кроме стыковых добавляется по одной подкладке через каждые 5 шпал;

3) на кривых $R \geqq 50$ с. и $\leqq 100$ с. наружный рельс сплошь пришивается тремя костылями, причем кроме стыковых добавляется по одной подкладке через каждые 2 шпалы. По внутренней нитке укладывается специальный контр-рельс на пятидырных подкладках, (см. черт. 56 стр. 59), и вся система пришивается 5 костылями;

4) на кривых $R \geqq 20$ с. и $R < 50$ с. наружный рельс сплошь укладывается на подкладках и пришивается тремя костылями. Внутренняя нитка, как в предыдущем случае;

5) на кривых $R \geqq 10$ с. и $R < 20$ с. контр-рельсы укладываются на обеих нитках. Схема эта может служить образцом для аналогичных случаев.

Как пример заграничных норм в укладке пути пригородных железных дорог, приводим тип рельсов, скреплений и размещения шпал по данным Венского трамвая (см. черт. 334).

Длина рельсов на кривых по наружной нитке состоит из определенного количества рельсов нормальной длины, по внутренней нитке укладываются укороченные рельсы или рубки.

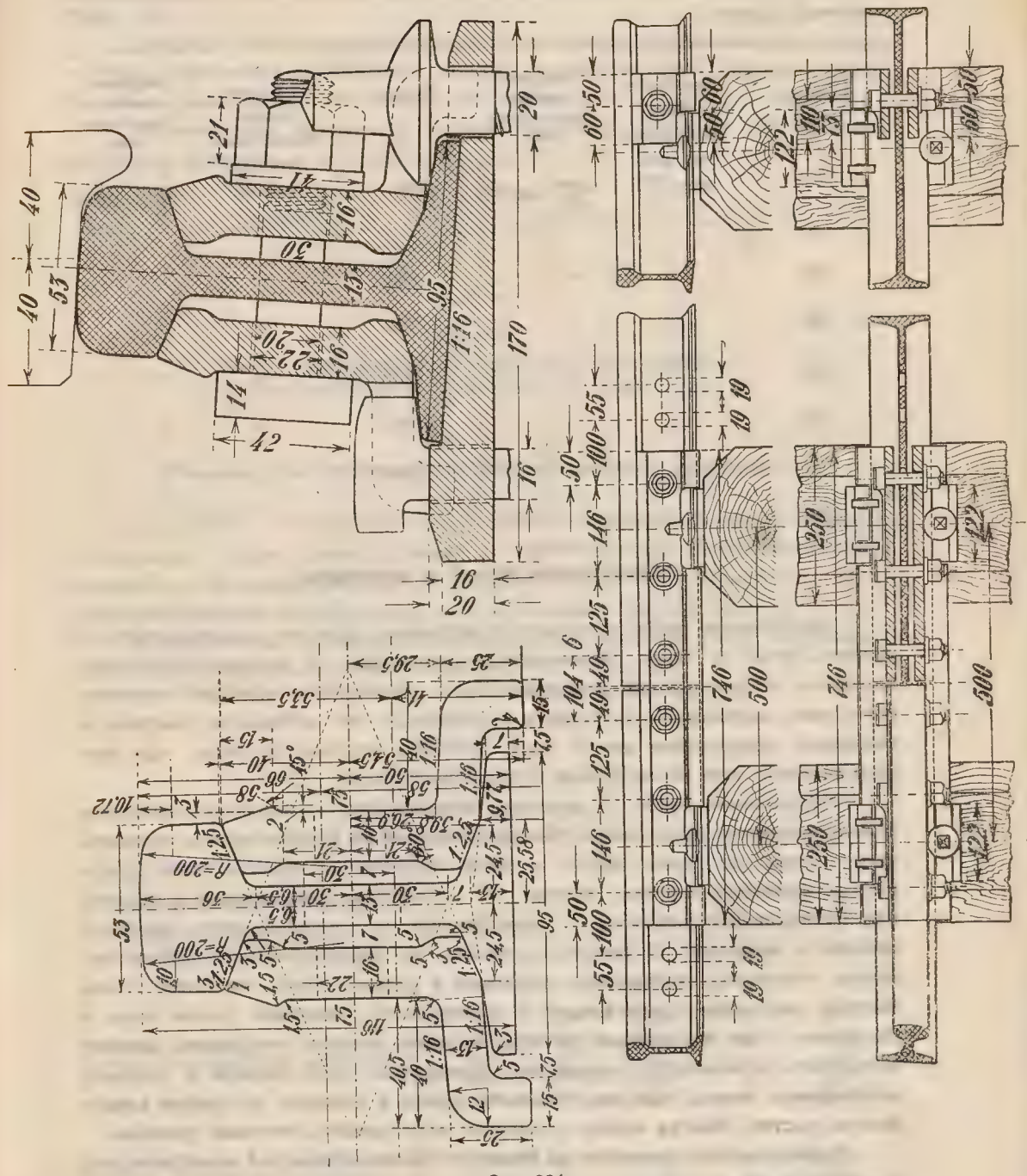


Рис. 334.

Тип рельса и скреплений Венских приг. жел. дор.

Приведем таблицу, примененную на Ораниенбаумской электрической железной дороге:

Радиусы R саж.	Наружная нитка. Число рельсов длиною 42′	Внутрен. нитка. Число рельсов		Радиус R саж.	Наружная нитка. Число рельсов длиною 42′	Внутрен. нитка. Число рельсов	
		длин. 42′	41′8″4			длин. 42′	41′8″4
100	1	—	1	600	6	5	1
200	2	1	1	700	7	6	1
300	3	2	1	800	8	7	1
400	4	3	1	900	9	8	1
500	5	4	1	1000	10	9	1

Пересечение путей и переезды.

Пересечение путей в городских железных дорогах осуществляется в уровень путей в виде обыкновенных крестовин. В случае пересечения городских и пригородных железных дорог с железными дорогами нормального типа, необходимо устраивать путепроводы во избежание задержек в движении, пересечение же в один уровень допускается лишь, как временная мера, или на запасных путях магистралей.

Пересечение путей с дорогами экипажными в городских железных дорогах при замощении колеи отпадает; в случае же выделенных из проезжей части путей, что имеет место в мало населенных пунктах и на пригородных железных дорогах, вопрос об устройстве пересечения в уровень или путепроводом решается в зависимости от интенсивности движения поездов и экипажей. В начале постройки из экономических соображений обычно стремятся устраивать переезды в уровень улиц, но имея в виду быстрое заселение прилегающей к пригородной железной дороге зоны и связанное с ним увеличение густоты движения поездов, необходимо заранее предвидеть возможность сооружения путепровода или тоннеля и отчудить необходимую землю, так как стоимость земли с момента постройки дороги быстро растет. Иногда можно с выгодой использовать местные условия.

Пример можно привести из практики Ораниенбаумской электрической железной дороги.

На протяжении от Петергофа до Мартышкино линия спроектирована по кавальеру Балтийской железной дороги, которая идет в выемке от

2,00 саж. до 3,00 саж. высотой, как представлено схематически на чертеже 335.

Благодаря этому расположению все переезды обыкновенных дорог, которые пересекают Балтийскую линию в уровень пути, удалось пройти обыкновенными железо-бетонными мостами отв. от 1,5 с. до 2,5 с.

Техническими условиями Ораниенбаумской железной дороги были допущены переезды и в уровень улиц.

Черт. 335.

Схема взаиморасположения проектных линий Ораниенб. эл. жел. дор и Балтийск. жел. дор. (по проекту 1913 г.).

Узловые соединения, станции, остановочные пункты.

Узловые соединения. В главе VII мы уже указали значение уменьшения числа типов стрелок и крестовин для эксплоатационного хозяйства. По нормировке типов стрелок и крестовин произведено много подготовительных исследований, как в Америке, так и в Европе.

Американская Ассоциация электрических железных дорог рекомендует следующие типы стрелок (черт. 336):

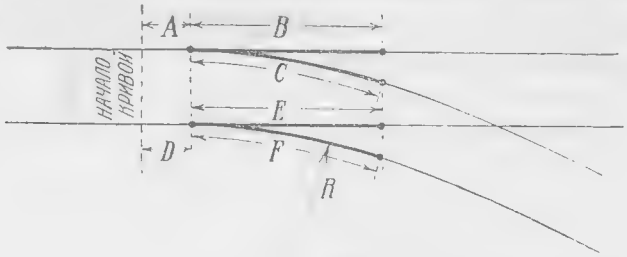
ТАБЛИЦА

нормальных стрелок.

НОРМАЛЬНЫЕ СТРЕЛКИ.

УСТАНОВЛЕННЫЙ РАДИУС ПО ВНУТРЕННЕМУ РЕЛЬСУ	R	Размеры			
		A	B и C	D	E и F
Стрелки односторонней кривизны.	50′	—6″	10′00″	—6″	10′7″
	75′	0″	12′00″	0″	12′0″
	100′	0″	12′00″	0″	12′0″
	150′	12″	14′00″	12″	14′0″
	200′	18″	15′00″	18″	15′0″
Стрелки двусторонней кривизны, симметрич.	100′	—6″	10′00″	—6″	10′0″
	150′	0″	12′00″	0″	12′0″
	200′	0″	12′00″	0″	12′0″
	350′	12″	15′00″	12″	15′0″

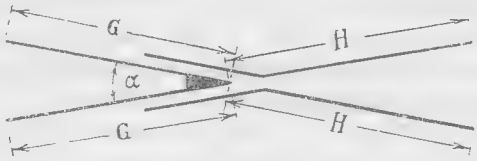
В настоящей таблице размеры A и D указывают расстояния стыка стрелки от начала кривой очертания пера стрелки; как видно из таблицы, только для стрелок $R = 75'$ и $100'$ односторонней кривизны и $R = 150'$ или $200'$ двусторонней кривизны начало кривой совпадает со стыком стрелки.



Черт. 336.
Стрелка Америк. Ассоц. эл. жел. дор.

Размеры B, C, E и F указывают полную длину стрелки от стыка до стыка.

Та же Ассоциация предлагает четыре типа нормальных прямых крестовин (чертеж 337).



Черт. 337.
Крестовина Америк. Ассоц. эл. жел. дор.

ТАБЛИЦА КРЕСТОВИН.

Марка крестовин	Угол α	Длина g	Длина H
$tg\,\alpha = 1/4$	14°15′	5′0″	4′0″
$tg\,\alpha = 1/5$	11°25′	5′6″	4′0″
$tg\,\alpha = 1/6$	9°32′	6′6″	5′0″
$tg\,\alpha = 1/8$	7° 9′	8′0″	5′6″

Английский инженер Holt по наблюдениям над работой пути трамвая Лидса, имеющего около 200 узлов, приходит к заключению, что все возможные комбинации можно обслужить тремя типами стрелок, за исключением особых случаев.

ТАБЛИЦА

нормальных стрелок, предложенная инженером Holt'ом.

Наименование типа стрелки	Радиус R остряка	Направление ответвления	Длина остряка	Полная длина стрелки.	№ конструкции
Симметричная	200′	двусторонн. .	7′6″	12′0″	№ 1
Правое ответвление	150′	правое . . .	8′0″	12′0″	№ 2
Левое „	150′	левое . . .	8′0″	12′0″	№ 2′
Правое „	75′	правое . . .	8′0″	10′0″	№ 3
Левое „	75′	левое . . .	8′0″	10′0″	№ 3′

Как видно из таблицы, инженер Holt идет дальше по пути уменьшения типов стрелок, но несомненно американская таблица имеет в виду более широкое распространение предлагаемых типов, тогда как в таблице инженера Holt'а более отражаются местные условия данного трамвая. Нельзя забывать, что одним из самых сильных тормозов, задерживающих нормировку, являются те осложнения в эксплоатационном хозяйстве службы пути, которые произойдут при переходе на новые типы стрелок и крестовин. В этом отношении сохранение радиусов кривизны и длин стрелок ранее применявшихся, несомненно, будет отстаиваться каждым трамваем.

Во всяком случае, при новых постройках и сплошной смене узлов можно рекомендовать следующие типы, близко подходящие к приведенным в таблицах.

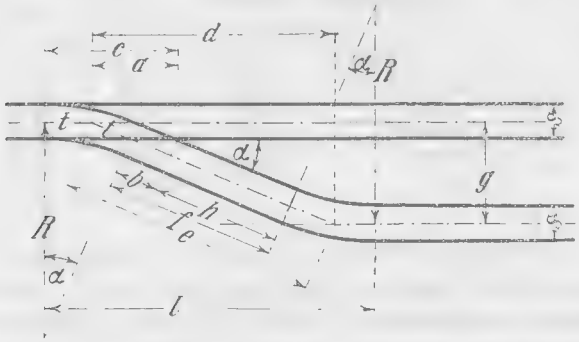
ТАБЛИЦА СТРЕЛОК.

	Назначение и место укладки	Радиус кривизны пера	Направлен. ответвлен.	№ констр.
Трамвай	Перевод с прямой крестовиной . . .	40 м.	правое левое	№ 1 № 1-б
	Перевод с кривой крестовиной . . .	30 м.	правое левое	№ 2 № 2-б
	Перевод парковых стрелочных улиц .	15 м.	правое левое	№ 3 № 3-б
	Симметричная	$30/30+S$ м.	-	№ 4
Пригор. ж. д.	Перевод с прямой крестовиной . . .	60 м.	правое левое	№ 5 № 5-б
	Перевод для парковых улиц	30 м.	правое левое	№ 6 № 6-б

Примечание: Практика показывает, что и для переводов с прямыми крестовинами стрелка $R=30$ м. дает вполне хорошие результаты.

Стрелки для трамваев могут быть сборные или литые, радиус кривизны пера указан по внутреннему рельсу; стрелки коробчатого типа „Феникс“.

Стрелки для пригородных железных дорог сборные из рельсов типа „Виньоль“, радиус кривизны указан для наружного кривого остряка.



Черт. 338.

Схема нормального ответвления.

В приведенной таблице мы даем типы для средних условий, в исключительных случаях придется применять специальные стрелки особой кривизны.

Что касается крестовин то для трамвайных переходов, при радиусе кривизны стрелки $R = 40$ и 30 м., крестовина марки $^1/_5$ вполне подходяща.

Для узловых соединений, с целью сократить количество типов кривых крестовин, можно применять метод трассировки всех узловых кривых по минимальному для трудных условий радиусу и с одним углом пересечений путей. Для средних условий, при угле пересечения улиц близком к 90°, радиус удовлетворяющий местным условиям около 20 м.

Тогда, вставляя переходную кривую в пределах между стрелкой и крестовиной, мы получим все крестовины одной кривизны.

В нижеследующей таблице приведены основные размеры стрелочных переводов, наиболее употребляемых в трамваях (чертеж 338).

ТАБЛИЦА

нормальных переводов и ответвлений со стрелками без пересеч. рамн. рельс.

S	g	R	$tg\,\alpha$	α	t	a	b	c	d	e	f	l
1000	2,50	49.5	1 : 6	9°27′44″	4,14	6,04	1,90	10,18	15,00	15,21	6,93	23.28
1000	2,50	39,5	1 : 5	11°18′36″	4,06	5,05	0,99	9,11	12.50	12.74	4.62	20,62
1000	2,50	30,0	1 : 5	11°18′36″	3,07	5,05	1,98	8,12	12.50	12.74	4,62	18,64
1524	3,80	45,0	1 : 5	11°18′36″	4,61	7,70	3,09	12,31	19,00	19,36	10.14	28,22
1524	3.80	40.0	1 : 5	11°18′36″	4.11	7,70	3,59	11,81	19,00	19.36	11.14	27.22
1524	3.80	30,0	1 : 5	11°18′36″	3,12	7.70	4,58	10,82	19,00	19,36	13,12	25,14

Вычисление ведется по формулам:

$$t = (R + S)\,tg\frac{\alpha}{2};\quad a = \frac{S}{2\,tg\frac{\alpha}{2}};\quad b = a - t;\quad c = a + t$$

$$d = \frac{g}{tg\,\alpha};\quad e = \frac{g}{Sin\,\alpha};\quad f = e - 2t;\quad l = d + 2t;$$

Радиус R взят по внутреннему рельсу.

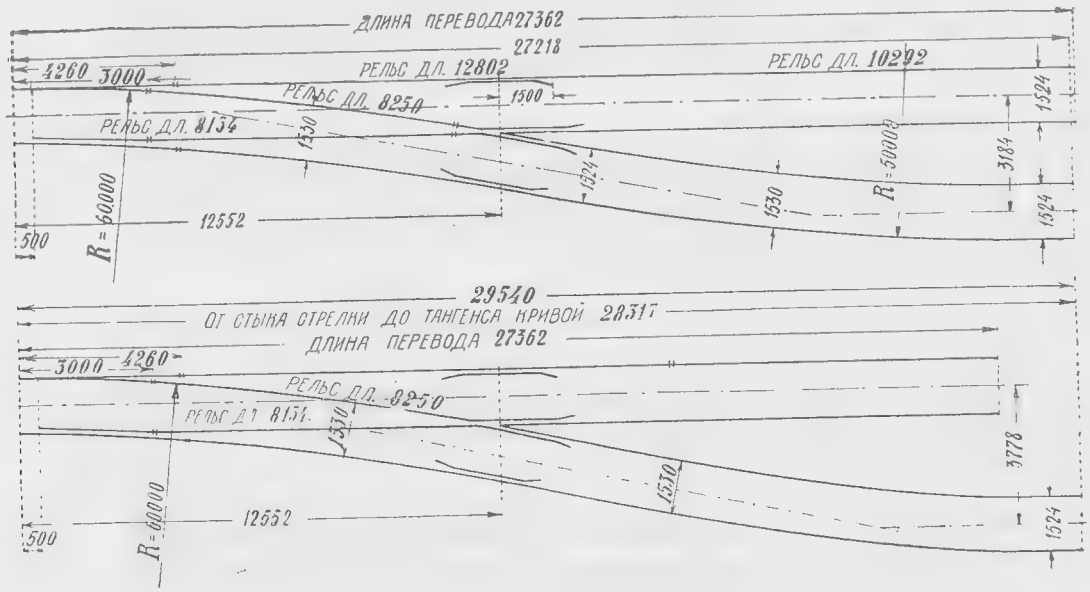
Для облегчения подсчетов приводим таблицу встречающихся при подсчете величин для различных углов наклона.

ТАБЛИЦА.

1	2			3			4	5	6	7	8
Наклон $\frac{1}{x}$	Угол α			Угол $\frac{\alpha}{2}$			log sin α	log cos α	log tg α	log tg $\frac{\alpha}{2}$	arc α
	°	′	″	°	′	″					
1 : 2	26	33	56	13	16	58	9,650 522 7	9,951 542 9	9,698 979 6	9,373 045 7	0.463 656 4
1 : 2,5	21	48	5	10	54	2	9,569 830 6	9,967 773 6	9,602 059 5	9,284 610 5	0,380 505 9
1 : 3	18	26	6	9	13	3	9,500 001 1	9,977 121 1	9,522 873 0	9,210 260 0	0,321 751 5
1 : 3,3	16	51	30	8	25	45	9,462 407 4	9,980 923 2	9,481 484 3	9,170 810 6	0,294 233 4
1 : 3,5	15	56	43	7	58	21	9,438 887 9	9.982 960 4	9,455 928 6	9,146 287 5	0,278 297 6
1 : 4	14	2	10	7	1	5	9.384 771 5	9.986 835 8	9,397 935 7	9,090 273 7	0,244 976 4
1 : 4,5	12	31	44	6	15	52	9,336 343 3	9,989 532 9	9.346 790 4	9,040 495 3	0,218 670 3
1 : 5	11	18	36	5	39	18	9,292 515 9	9,991 483 2	9,301 032 6	8,995 722 8	0,197 396 7
1 : 6	9	27	44	4	43	52	9.215 894 6	9,994 050 5	9,221 844 0	8,917 829 1	0,164 146 9
1 : 7	8	7	48	4	3	54	9.150 509 5	9·995 611 9	9,154 896 4	8,851 667 5	0,141 895 2
1 : 7,5	7	35	41	3	47	50	9.121 116 7	9,996 173 4	9,124 943 3	8,821 979 9	0,132 552 9
—	7	15	27	3	37	43	9,101 502 4	9,996 506 6	9,104 995 8	8.802 199 0	0,126 667 2
1 : 8	7	7	30	3	33	45	9,093 542 3	9,996 633 3	9,096 910 0	8,794 192 4	0,124 354 6
1 : 9	6	20	25	3	10	12	9 043 099 0	9,997 335 5	9·045 757 5	8,743 380 1	0,110 658 8
1 : 10	5	42	38	2	51	19	8.997 836 5	9,997 839 3	8.999 997 1	8,697 885 5	0.099 668 0
—	5	40	—	2	50	—	8.994 496 8	9,997 872 5	8,996 624 3	8.694 529 2	0.098 902 9
1 : 15	3	48	51	1	54	25	8.822 956 2	9,999 037 0	8,823 919 2	8,522 375 8	0,066 569 8
1 : 20	2	51	54	1	25	57	8,698 821 0	9,999 456 8	8,699 364 2	8.397 062 5	0,050 003 7
1 : 25	2	17	26	1	8	43	8,601 702 5	9,999 652 9	8,601 049 6	8,300 846 0	0,039 977 8
1 : 30	1	54	33	—	57	16	8,522 640 8	9,999 758 9	8,522 882 0	8.221 668 2	0.033 321 3
1 : 35	1	38	12	—	49	6	8,455 778 5	9.999 822 8	8,455 955 8	8,154 837 1	0·028 565 3
1 : 40	1	25	56	—	42	58	8,397 842 5	9,999 864 3	8,397 978 2	8,096 880 4	0,024 997 0

Как пример стрелочных переводов пригородных железных дорог, приводим эпюры переводов Ораниенбаумской эл. жел. дороги и стрелок железнодорожного типа из рельсов Виньоля, спроектированных с пересечением рамного рельса (см. черт. 339).

Переводы по схеме № 1 и 2 применялись на главных и специальных путях, в парках радиус стрелок был принят 30 м.



Черт. 339.

Эпюра стрелочного перевода Ораниенб. эл. жел. дор.

Относительно конструкции стрелок и крестовин все соображения и данные приведены в главе VII, здесь уместно лишь сказать, что на главных путях пригородных железных дорог, по аналогии с трамваями, следует применять литые крестовины из марганцевой стали.

Станции и парки.

Основной частью путевого устройства станций и парков служат стрелочные улицы.

Из приведенных в главе VIII примеров можно выделить следующие типы:

I. Тип для станций и разъездов.

Угол стрелочной улицы равен углу крестовины (см. черт. 340).

Обычно принимают:

$tg\,\varphi = {}^1/_4 - {}^1/_5$; φ — угол крестовины

Радиус внутреннего пера стрелки:

для трамваев $R = 30{,}00$ м. — $tg\,\varphi = 1/_4$,
для пригородн. ж. д. $R = 60{,}00$ м. — $tg\,\varphi = 1/_5$

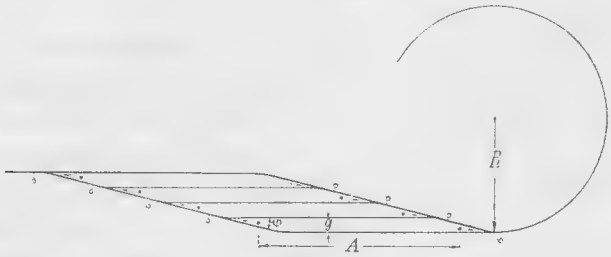
Расстояния между осями путей, в зависимости от типа промежуточных платформ:

при отсутствии платформ:

$g \geq \eta + 2{,}00$ м.,
где η — ширина габарита вагона;

при устройстве платформ:

$g = \eta + B$,
где η — ширина габарита вагона,
„ B — ширина платформы от 3,00 м. до 4,00 м.



Черт. 340.
Эпюра стрелочной улицы на конечной петле.

Полезная длина пути, т. е. расстояние между предельными столбиками:

$A = nLN$,
где n — число вагонов в поезде,
L — длина вагона,
N — число поездов, принимаемых на один путь.

Для трамваев обычно принимают для расчета $n = 2$ и $N = 2$, тогда $A = 4L$ и, как минимум, берут $A = 2L$.

Для пригородных железных дорог, где

$n = 2$ и $n = 4$ и $N = 1$,

следует принимать, как минимум,

$A = 4L$.

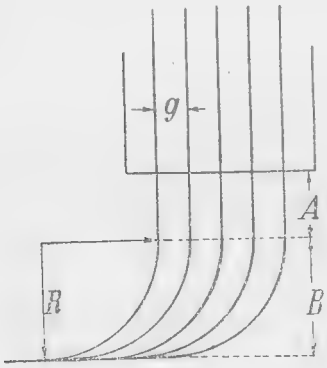
Число путей прибытия принимается по количеству маршрутов плюс один запасный.

Радиус петли $R = 20$ м. — 30 м.

Приведенная стрелочная улица не исключает возможности применения за недостатком места стрелочных переводов с кривыми крестовинами. В петлях конечного типа, с расположением путей прибытия перпендикулярно главным путям, перевод с кривой крестовиной будет более рационален, равно как и в центральных пунктах, с двупутными и однопутными кольцами.

II. Парковые стрелочные улицы.

Схема № 1 (черт. 341), в которой сарайные пути перпендикулярны направлению стрелочной улицы и все вливаются в нее непосредственно, наиболее компактная, требует минимальной площади земли;



Черт. 341.
Схема парковых путей перпендикулярных стр. улице.

$$R = 15{,}00 \text{ м.}; \; B = R; \; A \geqq \frac{L+l}{2} + 1{,}00 \text{ м.},$$

где L — длина вагона,

l — расстояние между осями двухосного вагона или расстояние между крайними осями четырехосного вагона.

Стрелочная улица этого типа требует литых стрелок и крестовин; наружные стрелки с подвижными остряками, так как получается пересечение наружного кривого рельса с внутренней стрелкой.

Для избежания этого и для возможности укладки нормальных стрелок необходимо, чтобы:

$g \geq \lambda$, где λ — полная длина стрелочного перевода от стыка стрелки до конечного стыка крестовины.

Для предварительных соображений о величине g приведем размеры λ для различных R (см. таблицу).

ТАБЛИЦА

переводов с кривыми крестовинами.

	Радиус R	Ширина колеи $S = 1524$			Ширина колеи $S = 1000$		
		$t + a$ [1]	μ	λ	$t + a$ [1]	μ	λ
№ 1	14	6,71	0,80	7,51	5,40	0.80	6,20
№ 2	20	7,95	0,80	8,75	6,00	0,80	6,80
№ 3	30	9,65	0,80	10,55	7,80	0,80	8,60

[1]) „$t + a$“ см. по чертежу № 338.

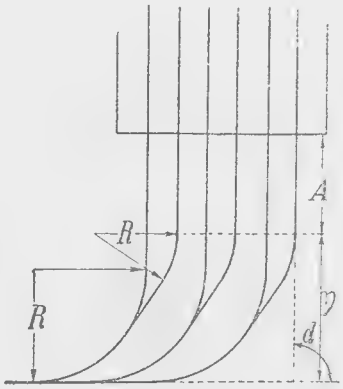
Из таблицы видно, что применяя перевод № 1 можно удовлетворить требованию $g \geq \lambda$, если соединить попарно сарайные пути, считая $g = 4{,}00$ м. Получим схему № 2 (черт. 342).

Соединяя по три сарайных пути, можем при том же g применить перевод № 3.

Определим величину n (число соединенных путей) в общем случае для разных схем.

На чертеже 343 представлена эпюра стрелочной улицы с соединением трех сарайных путей в один.

Из чертежа имеем следующие основные формулы:



Черт. 342.
Попарное соединение сарайных путей.

1) $Sin\,\alpha_1 = \frac{\lambda}{R+S}$

2) $\alpha_2 = \alpha - \alpha_1$

3) $z = \frac{q}{Sin\,\alpha}$

4) $z_1 = \frac{g}{Sin\,\alpha_1}$

5) $t = (R+S)\,tg\,\frac{\alpha_1}{2}$

6) $\xi = (R+S)\,tg\,\frac{\alpha}{2}$

7) $\psi = (R+S)\,tg\,\frac{\alpha_2}{2}$

8) $x = z - \lambda$

9) $y = z_1 - \lambda$

10) $\eta = \xi + t + (y + z_1 + t - S\,Sin\,\alpha_1)\,Cos\,\alpha_1$

Чтобы получить простые переводы без сложных пересечений крестовин, необходимо, чтобы $x \geq 0$ и $y \geq 0$.

В случае, если x и $y > 0$, для возможности вставить рубку необходимо, чтобы $x \geq 1{,}00$ м. и $y \geq 1{,}00$ м.

Таким образом, мы имеем:

если $x = 0$, то $z = \lambda = \frac{q}{Sin\,\alpha}$

и $y = 0$, то $z_1 = \lambda = \frac{g}{Sin\,\alpha_1}$;

если $x \geq 1$ м., то $\lambda + 1 \leq \frac{q}{Sin\,\alpha}$

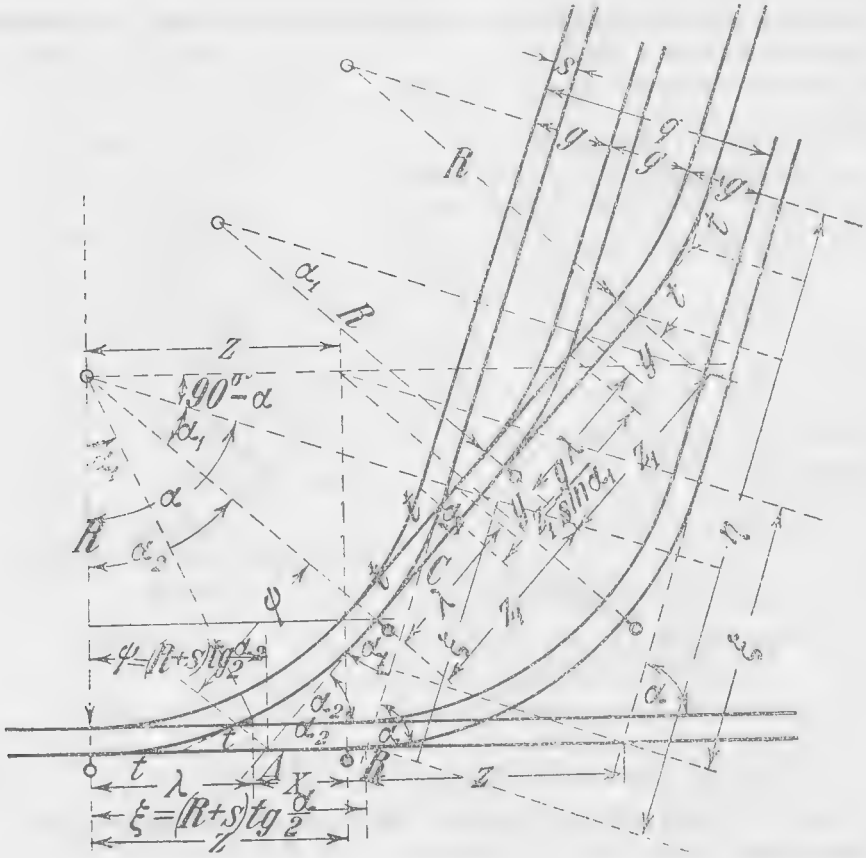
и $y \geq 1$ м., то $\lambda + 1 \leq \frac{g}{Sin\,\alpha_1}$;

отсюда, имея определенный перевод, определяем из (1):

$$Sin\,\alpha_1 = \frac{\lambda}{R+S},$$

затем определяем возможную величину g из (4):

$$g = \lambda\, Sin\,\alpha_1 \text{ или } g = (\lambda + 1)\, Sin\,\alpha,$$



Черт. 343.

Эпюра стрелочной ул. с соединением 3-х сар. путей в один.

Далее, подобным же образом определяем по величине $q = \Sigma g$ угол α из (3): $Sin\ \alpha = \frac{q}{\lambda}$, при чем $g \geq \lambda$.

Приведем расчет двух стрелочных улиц:

I. $R = 30$ м. $S = 1524$ мм. $\lambda = 10{,}6$ м.

$$Sin\,\alpha_1 = \frac{\lambda}{R+S} = \frac{10{,}6}{31{,}524} = 0{,}336;\ \alpha_1 = 19^\circ 38'$$

$$g \geq \lambda \, Sin\, \alpha_1 \geq 10{,}6 \times 0{,}336 \geq 3{,}56 \text{ м. или } g \geq (\lambda + 1)\, Sin\, \alpha_1 \geq 11{,}6 \times$$
$$\times\, 0{,}336 = 3{,}9 \text{ м.}$$

Принимаем $g = 4{,}00$ м.

Определяем угол α из условия, чтобы $x = 0$, т. е. $z = \lambda$ и задаемся $q = 4{,}00 + 4{,}40 = 8{,}4$ м.

Тогда из 3) $Sin\, \alpha = \frac{J}{\lambda} = \frac{8{,}4}{10{,}6} = 0{,}793$

$$\alpha = 52^\circ 28'$$

$$\alpha_2 = 52^\circ 28' - 19^\circ 38' = 32^\circ 50'$$

$$z_1 = \frac{g}{Sin\, \alpha_1} = \frac{4{,}00}{0{,}336} = 11{,}90$$

$$y = z_1 - \lambda = 1{,}3 \text{ м.}$$

$$x = z - \lambda = 0$$

$$t = 31{,}524 \times tg\ 9^\circ 49' = 31{,}524 \times 0{,}173 = 5{,}45$$

$$\xi = 31{,}524 \times tg\ 26^\circ 14' = 31{,}524 \times 0{,}493 = 15{,}54$$

$$\psi = 31{,}524 \times tg\ 16^\circ 25' = 31{,}524 \times 0{,}295 = 9{,}20$$

$$\eta = \xi + t + (y + z_1 + t)\ Cos\, 19^\circ 38' = 15{,}54 + 5{,}45 + (1{,}3 + 11{,}90 +$$
$$+ 5{,}45) \times 0{,}942 = 37{,}62 \text{ м.}$$

II. $R = 15{,}0$ м. $\quad S = 1{,}524; \quad \lambda = 8; \quad \alpha = 90^\circ$

$$Sin\, \alpha_1 = \frac{\lambda}{R + S} = \frac{8{,}00}{16{,}31} = 0{,}490; \ \alpha_1 = 29^\circ 20'$$

$$\alpha_2 = 90^\circ - 29^\circ 20' = 60^\circ 40'$$

$$g \geq \lambda \, Sin\, \alpha_1 \geq 8{,}00 \,.\, 0{,}49 = 3{,}92 \text{ м. или} \sim 4{,}00 \text{ м.}$$

что возможно, так как $z = \lambda = 8{,}00$ м.

$$Sin\, \alpha = 1{,}00; \ z_1 = \frac{g}{Sin\, \alpha_1} = \frac{4{,}00}{0{,}49} = 8{,}17 \text{ м. } z = e = 8{,}00 \text{ м.}$$

$$x = 0; \qquad y = 0;$$

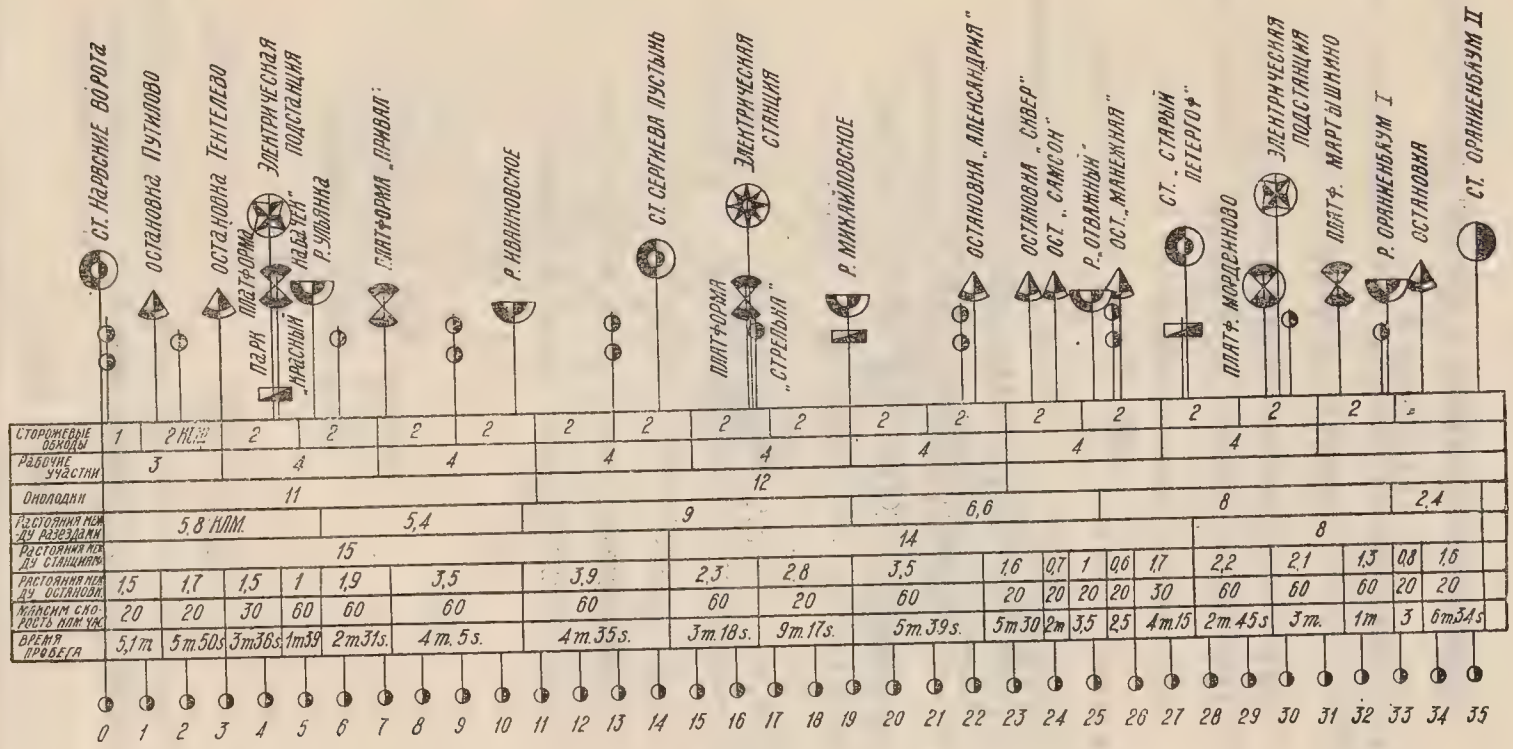
$$t = 16{,}524\, tg\ 14^\circ 40' = 16{,}524 \times 0{,}262 = 4{,}33$$

$$\psi = 16{,}524\, tg\ 30^\circ 20' = 16{,}524 \times 0{,}585 = 9{,}67$$

$$\xi = 16{,}524\, tg\ 45^\circ 00' = 16{,}524$$

$$\eta = \xi + t + (y + z_1 + t)\, Cos\, 29^\circ 29' = 16{,}52 + 4{,}33 + (8{,}17 + 4{,}33) \times$$
$$\times\, 0{,}872 = 31{,}75$$

Для сравнения приведем в таблице полученные данные.



Черт. 344.

График администр. деления Ораниенб. эл. жел. дор. (по проекту 1913 г.).

ТАБЛИЦА

перевод с кривыми крестовинами при $S = 1524$ мм.

R	λ	g	G	α_1	α	α_2	z	z_1	ξ	ψ	t	x	y	η
30,0	10,6	4,00	8,4	19°38′	52°28′	32°50′	10,6	11,90	15,54	9,20	5,45	0	1,3	37,62
15,0	8,00	4,00	8,0	29°20′	90°	60°40′	8,0	8,17	16,52	9,67	4,33	0	0	31,75

В обоих случаях мы имеем соединение двух сарайных путей в один путь, вливающийся в общую стрелочную улицу. Подобным же образом можно рассчитать и стрелочную улицу с переводами с прямыми крестовинами, обычно принимают крестовины с углом наклона $tg\,\varphi = {}^1/_4$, т. е. $\varphi = 14°$ и радиус стрелки $R = 30$ м.

Остальные данные приведены в главе VIII.

Что касается норм, то до сего времени в этом направлении пока еще мало сделано, и технические условия ограничиваются лишь общими указаниями.

Приводим выдержку из технических условий Ораниенбаумск. электрической железной дороги:

„§ 34. Вне городских территорий станции, разъезды и остановочные пункты могут располагаться и на уклонах, но не круче 0,010, в пределах же городской черты расположение станций, разъездов и остановочных пунктов сообразуется с профилем улиц.

§ 35. Общее количество разъездных и запасных путей, с необходимым числом переводов с одного пути на другой, должно соответствовать действительной потребности движения. Длина разъездных путей должна быть не менее 20 саж., считая между предельными столбиками.

§ 36. На остановочных пунктах и разъездах должны быть по мере необходимости устроены навесы для пассажиров. На главных станциях в Ленинграде, в Петергофе и Ораниенбауме, а равно и в других местах, где можно ожидать большого скопления пассажиров, устраиваются закрытые павильоны.

Кроме того, на остановочных пунктах и станциях должны быть по мере надобности предвидены необходимые устройства для приема и выдачи грузов.

§ 37. Для помещения вагонов-двигателей должны быть устроены отапливаемые сараи с небольшими мастерскими для ремонта вагонов-моторов, соответственно числу последних“.

Заканчивая на этом краткое описание общих данных для проектирования, упомянем о расположении путевых зданий служебного назначения.

Фактор прохода линии в густо-населенной местности сказывается и здесь. На железных дорогах нормального типа, помимо зданий служебного назначения, обычно устраиваются жилые помещения для персонала, постоянное присутствие которого на линии необходимо: казармы для дорожных мастеров и артелей ремонтных рабочих с небольшими кладовыми, сторожевые будки.

На городских железных дорогах всегда возможно подыскать соответствующее помещение в данном районе, а посему ограничиваются лишь устройством кладовых и магазинов службы пути в парках.

На пригородных железных дорогах, в зависимости от заселения, прибегают к смешанному способу, т. е. где возможно, берут помещение в наем, в противном случае строят отдельные путевые здания.

Как пример расположения зданий, приведем график административного деления Ораниенбаумской электрической железной дороги (черт. 344).

Тип зданий ничем не отличается от железно-дорожных, что же касается зданий служебного назначения, пассажирских зданий, помещения для дежурных агентов движения, павильонов и проч., то таковые, в зависимости от характера движения (частые поезда малых размеров), представляются в упрощенном виде.

ГЛАВА X.

Производство работ.

Работы по новой укладке путей городских эл. ж. д.

Общие условия производства работ.

Местные условия укладки путей в пределах городских улиц значительно усложняют производство работ.

Условия эти следующие:

1) Необходимость вести работы без стеснения уличного движения экипажей и пешеходов.

2) Невозможность прекращать движение конно-железнодорожных линий (если таковые существуют в данном городе к моменту проведения трамвая).

3) Присутствие подземных сооружений, как-то: канализационных, водопроводных и газовых труб, кабелей электрического освещения, телефонных и проч.

В зависимости от этих факторов приходится производить работу по заранее строго выработанному плану, согласованному с густотой и характером движения экипажей, с шириной улиц, сообразуясь с расположением подземных сооружений и их состоянием. Работы упрощаются, если к моменту постройки трамвая подземные сооружения закончены, и профиля и замощения улиц соответствуют требованиям техники.

План и категории работ.

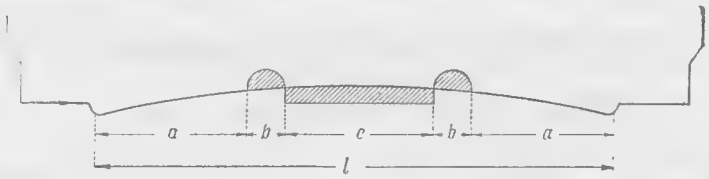
При выработке плана работ нужно учесть, возможно ли сократить экипажное движение на данной улице, в зависимости от ее ширины, при производстве работ по укладке путей.

Для этого необходимо иметь в виду, что минимальная ширина для проезда экипажей может быть принята около 1,2 с., и что для работ при укладке путей необходимо занять полосу шириной: а) $A =$ около 3,00 с., при одновременной укладке двух путей нормальной ширины колеи $5' = 0{,}714$ с. и при междопутии 1,00 с. и б) $A =$ около 2,75 с., при междопутии — $5' = 0{,}714$ с.

Исходя из этих соображений, казалось бы, что минимальная ширина улицы определяется для случая (*а*) 2,40 + 3,00 = 5,40 с., для случая (*б*)— 2,40 + 2,75 = 5,15 с.

Практически, имея в виду необходимость места для складывания булыжного камня от разобранной мостовой, вынутой из котлована земли, подвозимого песка и камня, вышеуказанные размеры ширины улицы нужно увеличить до 8,50 — 9,00 с., так как для склада указанных материалов необходимо иметь полосы шириной не менее 0,50 — 0,75 с.

Схематически поперечный профиль улицы, на которой производятся работы по укладке путей, представлен на чертеже 345.



Черт. 345.

Схема поперечного профиля улицы при производстве работ.

Полосы *a* остаются свободными для экипажного движения,

$a = 1{,}20 - 1{,}50$ с.,

Полосы *b* — заняты под склад материалов,

$b = 0{,}50 - 0{,}75$ с.,

Полоса *c* — занята под работы,

$c = 2{,}75 - 3{,}00$ с., в зависимости от ширины междопутия при нормальной ширине колеи.

При узкой колее — 1,00 м., 0,75 м. и т. д. — размер *c* соответственно уменьшается.

По техническим условиям постройки Ленинградского трамвая для работы полагалась полоса шириной 4,5 саж. для двух путей и 2,5 саж. для одного пути.

Все вышеуказанные размеры, конечно, не являются вполне точными: они могут изменяться в зависимости от интенсивности и характера экипажного движения, от способа складывания материала и проч.

Необходимо отметить, что даже при очень интенсивном движении экипажей можно производить укладку одновременно двух путей при меньших значениях величин *a* и *b*, если разрядить движение на время производства работ, направив его (например, ломовое движение и транзитное легковое)

по одной из параллельных улиц, и устроить особые приспособления для складывания булыжного камня от разобраной мостовой при немедленной отвозке вынутой из котлована земли.

Способ направления экипажного движения по одной из параллельных улиц вполне рационален, так как он нисколько не стеснителен ни для жителей данной улицы, ни для проезжающих, не имеющих надобности следовать именно по данной улице. В виду этого его следует широко применять при работах по укладке путей городских железных дорог.

В Европе в этом отношении идут очень далеко, вплоть до закрытия экипажного движения на данной улице. Местные жители, учитывая пользу проводимой железной дороги, относятся к работам вполне сочувственно и с готовностью поступаются некоторыми удобствами. В Ленинграде, при постройке трамвая первой очереди, в этом отношении строители встречали большие затруднения, как со стороны администрации, так и в смысле нареканий и неудовольствий со стороны местных обывателей, несмотря на то, что Ленинград по планировке улиц представляет весьма удобную схему для временного направления экипажного движения по параллельным улицам.

Интересно отметить тот факт, что при последующих постройках отношение администрации и обывателей было уже менее суровое, и даже удавалось вовсе закрывать улицы для экипажного движения при полном сочувствии местного населения.

В настоящее время, надо полагать, условия более благоприятны.

Работы по укладке пути могут быть разделены на следующие категории:

1) Разборка мостовой и путей конно-железной дороги, если таковые имеются на месте укладки новых путей.

2) Земляные работы по вырытию котлована для устройства основания.

3) Устройство основания под пути.

4) Укладки пути:

а) раскладка шпал и рельсов, сбалчивание рельсов и пришивка костылями.

б) подбивка шпал, рехтовка пути и заполнение ящиков между шпалами.

5) Замощение полосы занятой путями.

Работы эти ведутся в известной последовательности, и общий фронт работ зависит от типа основания.

До приступа к работам должны быть развезены необходимые материалы. Рельсы развозятся заранее и складываются у тротуаров по два рельса с каждой стороны улицы на всем протяжении предстоящих работ.

Шпалы складываются на боковых улицах с небольшим движением или подвозятся к месту работ во время их производства.

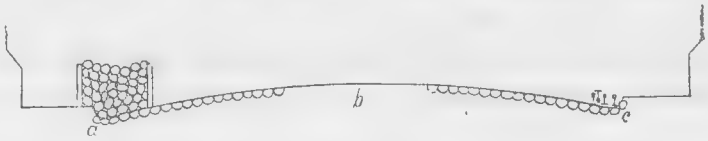
Песок и щебень складываются на ближайших площадях, чтобы сократить расстояние подвозки к месту работ.

Затем приступают к разбивке линии путей на месте; намечается ось путей колышками, забитыми в расстоянии 50 саж. друг от друга, и от оси задают ширину полосы разборки мостовой.

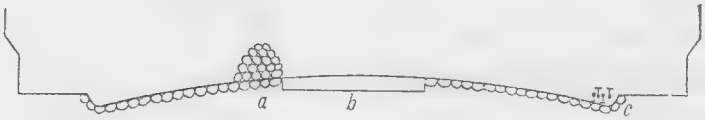
Разборка мостовой и земляные работы.

Работу ведут одновременно на протяжении от 60 до 100 метров; полученный от разборки материал либо складывают у места работ, либо немедленно увозят в зависимости от того, пригоден ли камень для замощения путей или нет.

Если замощение улиц, как в большинстве русских городов, сделано из булыжного камня, и мостовая эта проектируется для замощения укладываемых путей, то камень складывают либо у одного из тротуаров, либо с одной стороны полосы, занятой под работу, как то показано на чертежах №№ 346 и 347.



Черт. 346.



Черт. 347.

Схемы поперечного профиля улицы при производстве работ.

где:

a — булыжный камень, сложенный в ящики;

b — полоса разобранной мостовой;

c — рельсы сложенные у тротуара.

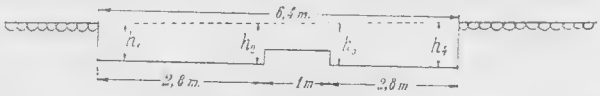
Первая схема употребляется для улиц узких, при ширине не более 8 — 9 с.; вторая — для широких улиц, свыше 9 — 10 саж.

Когда мостовая разобрана на протяжении 60 — 100 метров, начинают работы по вырытию котлована, разборка же мостовой идет вперед. Вынутая земля складывается у котлована и по мере накопления увозится с места работ на свалку.

В большинстве случаев в городах земля вынимается простыми лопатами, и лишь в редких случаях приходится применять ломы для ее разрыхления.

Здесь необходимо заметить, что котлованы под основание роются отдельно для каждого пути в случае, если междопутие равно 1,00 с., и общий котлован под два пути при междопутии равном 0,714 с.

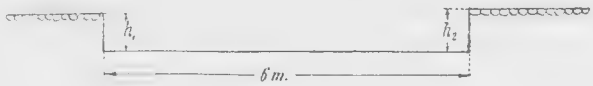
Рациональнее и в первом случае копать общий котлован, но из экономических соображений делают два отдельных котлована, как это показано на чертеже № 348, где междопутие = 1,00 саж. и колея 0,714 саж.



Черт. 348.

Профиль отдельных котлованов под два пути.

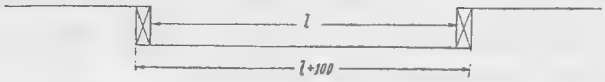
При междопутии 0,714 ширина остающейся между двумя котлованами земли настолько незначительна (всего 0,22 с.), что фактически ее невозможно сохранить, и вынимается общий котлован (см. черт. 349).



Черт. 349.

Профиль общего котлована под два пути.

Указанные на чертежах размеры котлованов относятся к путям, уложенным на шпалах на слое песка или щебня, при чем длина шпал = = 1,15 саж.



Черт. 350.

Профиль котлована при укладке путей на бетонном основании.

В зависимости от размеров оснований меняется и размер котлована, при чем для бетонных оснований котлованы следует делать на 0,05 с. шире слоя бетона, чтобы заложить по краям доски для образования форм (см. черт. 350).

В виду негоризонтальности поверхности мостовой для обмера котлована следует измерять его глубину у каждого края от горизонта мостовой, как показано на чертежах. Для точного учета количества вынутой земли из указанных глубин нужно вычесть величину, соответствующую толщине разобранной мостовой. По опытным данным постройки Ленинградского трамвая первой очереди эта величина для среднего размера камня булыжной мостовой может быть принята равной 0,025 саж. (∞ 0,03 с.).

При наличии торцовой мостовой толщина ее может быть определена непосредственным измерением.

В договоре необходимо оговорить, как оплачивается вынутая земля, с вычетом мостовой или без вычета, во избежание недоразумений при оплате. При постройке 1-ой очереди Ленинградского трамвая претензии подрядчика по этому пункту достигали 300 тысяч рублей.

Здесь необходимо заметить, что вопросом большой важности при производстве подобных земляных работ является обеспечение мест свалки вынутого грунта. Отвозка земли составляет наибольший расход по производству земляных работ, и поэтому сокращением дальности возки можно в значительной степени сократить стоимость земляных работ.

Как пример, можно привести стоимость земляных работ при постройке путей Ленинградского трамвая 1-ой очереди.

Выемка земли на вымет за 1 куб. с.	— 1 р.	80 к.
„ „ с отвозкой до 2 в.	— 7 „	80 „
„ „ „ „ 3 „	— 12 „	00 „
„ „ „ „ 4 „	— 14 „	40 „
„ „ „ „ 5 „	— 18 „	75 „

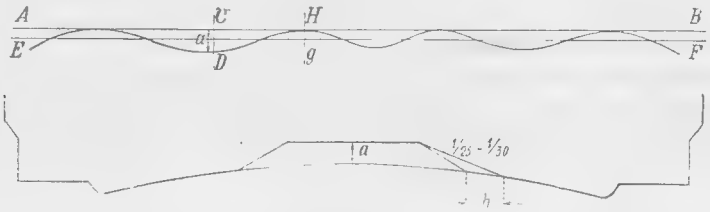
В виду этого, при составлении плана работ необходимо определить для каждого района работ ближайшее место свалки, куда и направлять вынутую землю.

Вторым вопросом большой важности является правильное заложение дна котлована в продольном направлении. Продольный профиль улицы не представляет собой правильного чередования подъемов и уклонов, в большинстве случаев они совершенно случайны.

В виду этого, хотя линия городских дорог в силу небольших скоростей и может проектироваться с частыми переломами продольного профиля, но вполне следить за всеми случайными переломами улицы она не может.

Поэтому продольный профиль полотна городских железных дорог состоит как-бы из непрерывного рода малых выемок и насыпей, высоты которых измеряются в сотых и тысячных долях сажени.

Мерою высоты насыпи в данном случае является возможность сопряжения мостовой полосы путей с мостовой улицы пологими уклонами, не превосходящими $^1/_{25}$ — $^1/_{30}$ в поперечном направлении, без крупных перемощений улицы.



Черт. 351.

Согласование глубины котлована с продольным профилем улицы.

На чертеже 351 представлен продольный профиль улиц в искаженном масштабе.

Наиболее просто было бы уложить путь таким образом, чтобы линия головки рельсов совпадала с линией AB. Но необходимо проверить, возможно ли в сечени CD поднять головку рельсов над мостовой на высоту a. Для этого обратимся к поперечному профилю в данном сечении и посмотрим, можно ли сопречь мостовую пути с мостовой улицы пологими отмостками, и на какой ширине b придется для этого перемостить мостовую улиц.

Считая, что в большинстве случаев поперечный профиль улиц проектируется для булыжных мостовых с уклоном около $^1/_{40}$ — $^1/_{30}$, при наименьшем уклоне $^1/_{40}$ и сопряжении отмосткой в $^1/_{25}$ мы получим, что головку рельса можно поднять над мостовой на 0,015 с., при ширине перемощения в 1,00 саж.

В виду этого приходится выбирать среднюю линию проектной высоты головки рельса, линию EF, причем в сечении GH мы получим поперечный профиль, изображенный на чертеже 352.

Черт. 352.

Согласование укладки рельсов с поперечным профилем улицы.

На практике приходится иногда повышать головку рельсов над уровнем мостовой и более чем на 0,015 с., мириться с более крупными отмостками и перемащивать улицу по всей ее ширине. Наиболее рацио-

нально выбирать среднюю проектную линию (по черт. *ЕГ*), чтобы сопряжение мостовых путей и улицы варьировало в пределах от $^1/_{25}$, для повышенных мест, до $^1/_{70}$ в пониженных местах.

Вследствие вышеизложенного, до приступа к работам производят точную нивеллировку поверхности улицы по точкам, взятым в расстоянии не более 10,00 с. друг от друга и, спроектировав на месте проектную линию головки рельсов, задают заложение дна котлована от каждой точки.

Несоблюдение этого правила может повести к тому, что местами котлован будет выкопан глубже, и помимо излишней переплаты за земляные работы придется переплачивать за лишнюю толщину основания.

Устройство оснований.

Бетонное основание. Лучшим способом для устройства бетонного основания признана предварительная укладка пути на деревянных клиньях, с точной установкой в вертикальном и горизонтальном направлении, и затем бетонировка самого основания до полного его профиля, при этом во все время работ необходимо следить за правильностью рехтовки, чтобы после схватывания бетона не передвигать рельсов.

Трамбование бетона ведут в два слоя по толщине, причем верхний слой не должен отставать значительно от нижнего, чтобы получить единство массы бетона.

Приготовление бетона производится, в большинстве случаев, вручную, так как фронт работ значительно растянут, и в одном месте нужно лишь небольшое количество бетона: около 0,35—0,40 кб. с. на 1 п. с. одиночного пути.

Состав бетона в большинстве случаев, 1:3:6.

Иногда жирнее — 1:$2^1/_2$:5 и 1:2:4.

После окончания бетонировки на протяжении нескольких звеньев клинья из под рельсов выбивают и пустоты заполняют бетоном. Иногда вместо клиньев употребляют куски камня или бетонные плиты по способу инженера Буссе.

Для прочности бетонного основания важно, чтобы вся его толщина с верхним слоем заделки подошвы была сделана до схватывания отдельных слоев бетона, чтобы после схватывания не производилась передвижка рельсов и чтобы движение по вновь уложенным путям было открыто не ранее полного затвердения бетона, т. е. никак не раньше 15—20 дней.

Материалы употребляемые для бетона должны удовлетворять общим требованиям подобных работ, а именно:

1) цемент должен быть портландский и удовлетворять техническим нормам;

2) щебень должен быть чистый, промытый, из гранитных пород, размером от $^1/_2''$ до $1^1/_2''$;

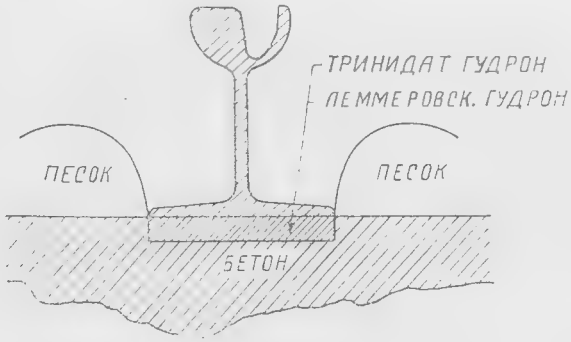
3) песок крупный, острый, без примеси глины.

Между подошвой рельса и бетонным основанием имеется иногда промежуточный эластичный слой подбивки.

В этом случае бетон основания может быть сделан до укладки рельсов, но необходимо обратить внимание, чтобы поверхность его точно соответствовала проектному продольному профилю.

После устройства основания на него укладывают рельсы на деревянных подкладках и заполняют пространство между подошвой рельса и основанием щебнем с гравием и гудроном или иным, выбранным для этой цели, материалом.

Если материалом для подбивки служат тринидат-гудрон и леммеровский гудрон, то смесь эта настолько жидка, что заполнение пространства между подошвой рельса и бетонным основанием можно осуществить подливкой этой массы. Для этого, (см. черт. 353), около подошвы рельса с двух сторон насыпают песок таким образом, что подошва рельса находится как-бы в канаве, куда и льют горячую смесь гудрона. Этот способ применяется в Гамбурге и в Англии.



Черт. 353.

Подливка гудрона под подошву рельса.

Для разогревания гудрона и варки его с песком употребляют особые передвижные котлы.

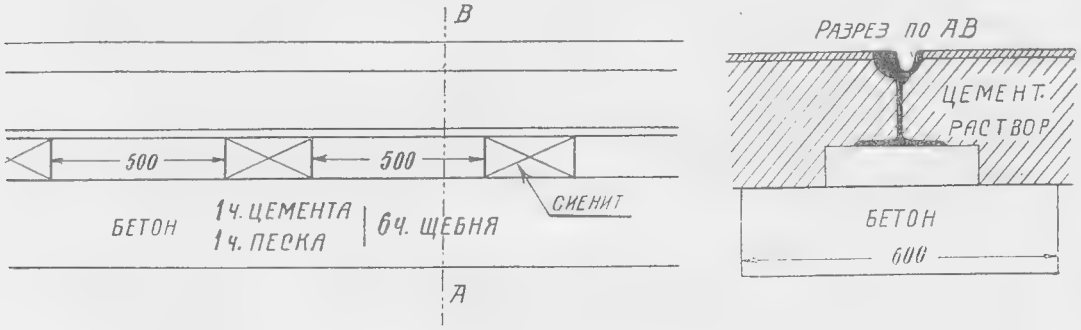
Смесь из 22 — 28 частей по весу тринидат-гудрона и 72 — 78 частей леммеровского гудрона (мастика) варят около $2^1/_2$ часов.

Твердеет эта смесь через 2 часа.

Если материалом для подбивки служит цементный раствор, то работу ведут иначе.

Для устройства бетонного основания, (см. черт. № 354), в данном случае в виде отдельных продольных лежней под каждый рельс, на него укладывают рельсы на отдельных кусках камня твердой породы (наприм., сиенит), точно выравнивая рельс подбивкой камней цементным раствором. Промежутки между камнями подбивают цементным раствором 1:2,

едва смоченным водой, и придают подбивке трапецоидальную форму в поперечном сечении. Пространство между рельсами заполняют бетоном для устройства основания под асфальтовую мостовую.

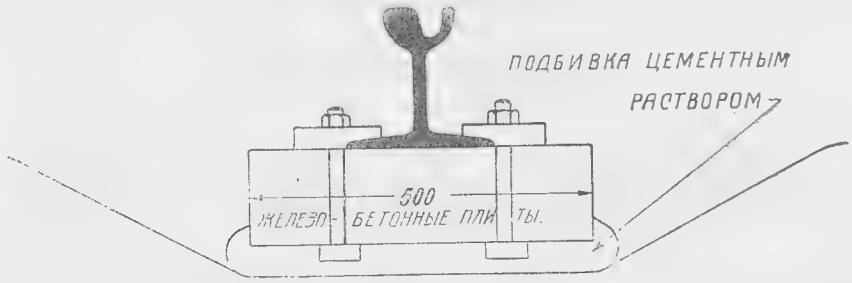


Черт. 354.

Укладка рельсов на отдельных камнях.

Таким образом, вслед за земляными работами по вырытию котлована, ведут работы по устройству бетонного основания и вслед за сим, после затвердения бетона, укладывают путь и подбивают рельсы цементным раствором.

Аналогичным образом ведут работы также в случае применения железобетонных плит по способу инженера Буссе, применяемому в Берлине (см. черт. 355).



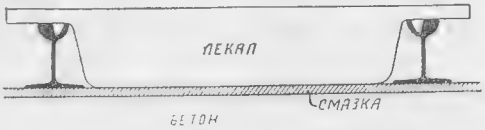
Черт. 355.

Укладка рельсов на железобетонных плитах.

Вначале укладывают на определенном расстоянии друг от друга железобетонные плиты на спланированное дно котлована, затем раскладывают рельсы и прикрепляют их после сбалчивания стыков к плитам болтами. Затем, после предварительной рехтовки пути, выравнивают его в вертикальном направлении. Подбивка плит делается цементным раствором состава: 1 кб. м. гравия и 1 кб. м. цемента. Раствор берется почти сухой.

После этого заполняют бетоном промежутки между отдельными плитами, подбивая подошву рельсов.

Как общее замечание, при устройстве бетонных оснований нужно иметь в виду, что следует уплотнить дно котлована, втрамбовывая щебень, и затем уже приступать к бетонировке.



Черт. 356.

Лекала для сглаживания поверхности смазки.

Кладку бетона должно вести слоями толщиной около 10 см., причем не следует отставать с бетонировкой верхнего слоя, чтобы нижний слой не успел за это время окрепнуть.

Черт. 357.

Сборка узла на клиньях для последующей бетонировки основания.

При заделке подошвы рельса в бетоне следует вести укладку этого слоя одновременно с общей массой бетона, чтобы он плотно схватился с ней.

Смазку верхнего слоя бетона следует вести вслед за бетонировкой основания, чтобы она хорошо схватилась с бетоном основания, в противном случае смазка будет отставать отдельными слоями и трескаться.

Так как слой смазки служит основанием торцовой мостовой, то надлежит следить за тем, чтобы была выдержана надлежащая высота от головки рельса до поверхности смазки, так как в противном случае торцы не будут представлять ровной поверхности, подрубание же смазки трудно исполнимо.

В виду этого надлежит сглаживать поверхность смазки по лекалам установленной формы (см. черт. 356), сделанным из $2^1/_2''$ доски.

Следует чаще проверять размер лекала, так как лекало от постоянного употребления стирается, вследствие чего могут получиться неверности в высоте смазки относительно головки рельса.

Черт. 358.

Бетонировка основания (общий вид работ).

При производстве работ следует строго исполнять все правила бетонных работ, как по изготовлению бетона, так и по отношению к качеству материала. Следует обращать особое внимание на чистоту песка и щебня, так как материалы эти, сложенные на улице непосредственно в пределах экипажного движения, постоянно засоряются уличным мусором и грязью; поэтому грохотание и промывку щебня следует производить непосредственно перед перемешиванием массы.

Вертикальные пределы бетона должны быть ограждены досками для получения хорошего бокового упора при трамбовании бетона.

Если бетонное основание общее для обоих рельсов, то таковое следует устраивать сразу по всей ширине для одного пути, при чем с бетонировкой основания под второй путь можно несколько отставать, во избежание тесноты в работе.

На фотографии № 357 показана сборка узла на клиньях для бетонировки основания пути.

Фотография № 358 представляет общую картину работ по бетонировке основания.

Щебеночное основание. Работы по устройству щебеночного основания отличаются лишь тем, что до укладки рельсов вырытый котлован заполняется щебнем и трамбуется слоями толщиной около 0,03 саж.

При замощении колеи булыжной мостовой полезно добавлять в щебень основания песок для заполнения пустот, так как в противном случае песок, представляющий собой основание мостовой, будет проникать в пустоты, что может послужить причиной расстройства мостовой. Очень важно обратить внимание на плотное трамбование основания. После доведения основания до определенного горизонта, на нем непосредственно укладываются рельсы.

Основание на шпалах. При укладке пути на шпалах работа, как и аналогичная работа при укладке железнодорожных путей, состоит из: 1) раскладывания шпал, разноски рельсов, сбалчивания стыков с постановкой электрич. соединений, пришивки рельсов костылями к шпалам.

Особенности работы заключаются лишь в том, что для городских дорог употребляются рельсы более мощного сечения и большей длины; игра в ширине рельсовой и колесной колей значительно меньше вследствие меньшей ширины бандажей и применения желобчатых рельсов; конструкция стыков более сложная и, наконец, фронт работ ограничен небольшими пределами, и работа производится в пределах улиц с постоянным, иногда весьма интенсивным, движением экипажей и пешеходов.

Отсюда вытекают требования очень деятельной работы по строго выработанному плану, чтобы каждый рабочий знал свое дело и место.

Практика показала, что наиболее рациональным является такое деление рабочих:

Первая партия — укладчики — после раскладки шпал разносит рельсы на протяжении от 4 до 6 звеньев одиночного пути и сбалчивает их в стыках.

Вторая партия — костыльщики — пришивает костыли.

Третья партия — подбивает и рехтует путь.

В виду значительного веса рельса, достигающего 45 — 50 п., употребляют особые приспособления для перевозки и переноски их.

На фот. 359 изображена двухколесная тележка для перевозки рельса, который захватывается за головку клещами, подвешенными на раме

тележки. Подобные же клещи надеваются на прочную палку и служат для переноски рельсов, причем на каждые клещи нужны два рабочих.

На фотографии изображен момент разноски рельсов; как видно, на один рельс приходится две тележки и 4 пары клещей, т.-е. всего 10 человек рабочих.

Черт. 359.

Двухколесная тележка для перевозки рельсов.

Сбалчивание стыков рельсов производится таким же образом, как и на железных дорогах, посредством гаечных ключей с длинными ручками.

Для полного натяжения гаек необходимо ударять кувалдой по накладке, чтобы она хорошо села на месте, так как одним натяжением болта не удается достаточно стянуть накладки.

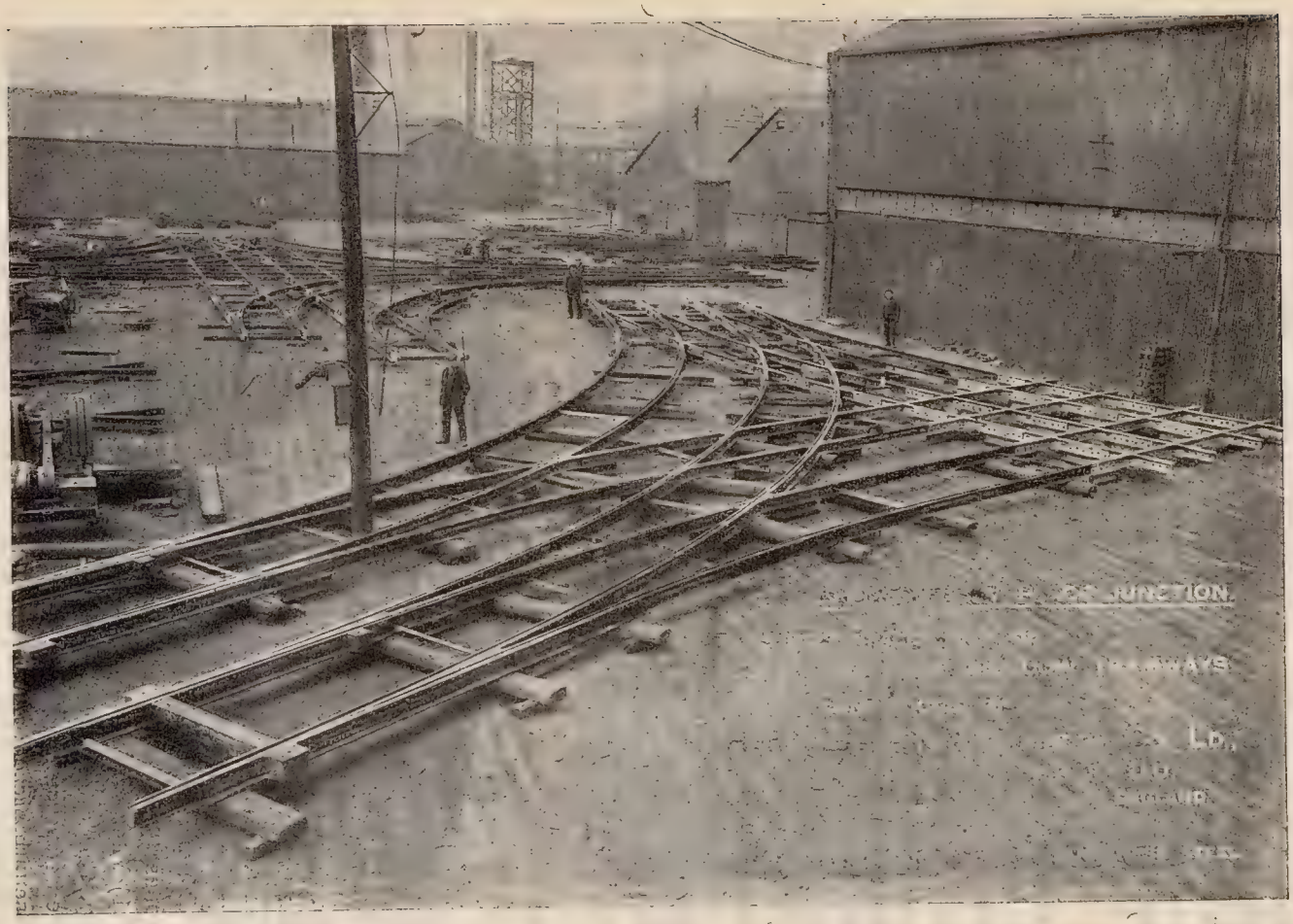
Следует обратить внимание, чтобы длина ручки гаечного ключа была рассчитана на силу одного рабочего, в зависимости от сопротивления нарезки болта, во избежание срывания резьбы гайки и болта. Хорошо подтянутые накладки при ударе в торцовую часть не сдвигаются с места.

Производство работ по сварке стыков приведено в главе о стыковых соединениях.

Укладка узлов.

Как уже было описано выше, узловые соединения состоят из большого количества отдельных частей: стрелок, крестовин, соединительных рельсов, тяг разных длин, анкеров и пр. Поэтому для точной укладки без зазоров в стыках безусловно следует рекомендовать предварительную сборку их на складах на особых помостах.

При заказе узлов с полным комплектом соединительных рельсов и тяг заводам, обычно завод и производит точную пригонку частей, собирая узел на особых помостах, как то представлено на фотографии 360.



Черт. 360.

Сборка узлов на заводе.

Для удобства сборки на месте все отдельные части нумеруются и окрашиваются разными цветами по группам, составляющим особые части узла; соответственно помечаются и торцы рельсов, крестовин и стрелок, прилегающих друг к другу. Способ этот значительно облегчает сборку узла на месте.

Необходимо отметить, что узел должен быть уложен обязательно в одной плоскости во избежание расхождения в стыках.

Лучшим основанием для узла является щебеночное с анкерами.

Укладка на шпалах представляет затруднения в смысле размещения их и может применяться лишь при ненадежных грунтах.

Основание бетонное затрудняет смену соединительных рельсов, которые быстро изнашиваются, и его обычно применяют лишь в тех случаях, когда и соединительные рельсы представляют литье из марганцевой стали.

Обычно щебеночное основание вначале делается толщиной лишь до горизонта низа анкеров; затем узел собирается на деревянных подкладках, точно выправляется в вертикальном и горизонтальном направлении и затем подбивается щебнем с соблюдением всех предосторожностей, чтобы не сбить направление. При бетонном основании бетонировка идет, как и всегда, после сборки и укладки узла на подкладках.

В случае применения шпал, таковые заранее раскладываются в соответствии с выработанной эпюрой и на них производится сборка узла с пришивкой костылями и дальнейшей подбивкой на балласт и рехтовкой.

После укладки стыки сглаживаются наждачными кругами.

Накидные пути и переходы.

При переходе на электрическую тягу в городах, имеющих конно-железные дороги, или при переустройстве существующей сети трамваев работы по укладке новых путей сильно осложняются.

Место укладки новых путей в громадном большинстве случаев совпадает со старыми путями, и необходимость сохранения непрерывности движения требует детально разработанного плана последовательности работ на определенных участках и изменения существующих маршрутов с сохранением конечных пунктов и доступа к трамвайным паркам.

Обычно принимаются следующие меры для сохранения непрерывности движения (как пример, возьмем постройку Ленинградского трамвая).

1) Укладка временных обходных путей из рельс Виньоля у тротуаров улицы. Эта схема применяется для широких улиц, как то имело место на бывшем Невском проспекте, Владимирском проспекте, Загородном проспекте (от Звенигородской улицы до Детскосельского вокзала) и в некоторых других местах.

2) Укладка временных обходных путей на параллельных улицах, с оставлением прежних конечных пунктов.

В Ленинграде этот второй способ был применен на Литейном проспекте, причем временное движение от здания бывшего Окружного Суда было направлено по обходным путям, уложенным по Захарьевской улице, Воскресенскому проспекту, Кирочной, Надеждинской и Жуковской, с выходом на Литейный проспект, и на Загородном проспекте, от Владимирского до Звенигородской, временное движение было направлено по Большой Московской, Кабинетской и Звенигородской улицам.

В первом и втором случае средняя часть улицы освобождается, и укладка обеих колей двойного пути ведется одновременно.

3) Под работу занимается один путь, движение происходит по одному из старых путей и временному пути, уложенному у тротуара.

4) Движение с пересадкой.

Работой заняты оба пути на протяжении от 100 до 150 с.; для возврата вагонов в начале и в конце участка занятого работой, укладываются временные переходы, которые по мере окончания работ продвигаются вслед за укладкой новых путей.

Эта схема применяется на второстепенных линиях с небольшим движением.

Для осуществления этих схем необходимо уложить большое количество временных путей, что составляет значительный накладной расход.

Так, например, общее количество уложенных временных путей при проведении линий 1-ой очереди Ленинградского трамвая достигло 25 в. одиночного пути стоимостью около 125.000 рублей, не считая рельсов скреплений и шпал.

По длине временные пути составляли $^1/_4$ общей длины укладываемых новых путей. Из приведенного грубого подсчета ясно, насколько важную роль играют временные пути в общем ходе работ.

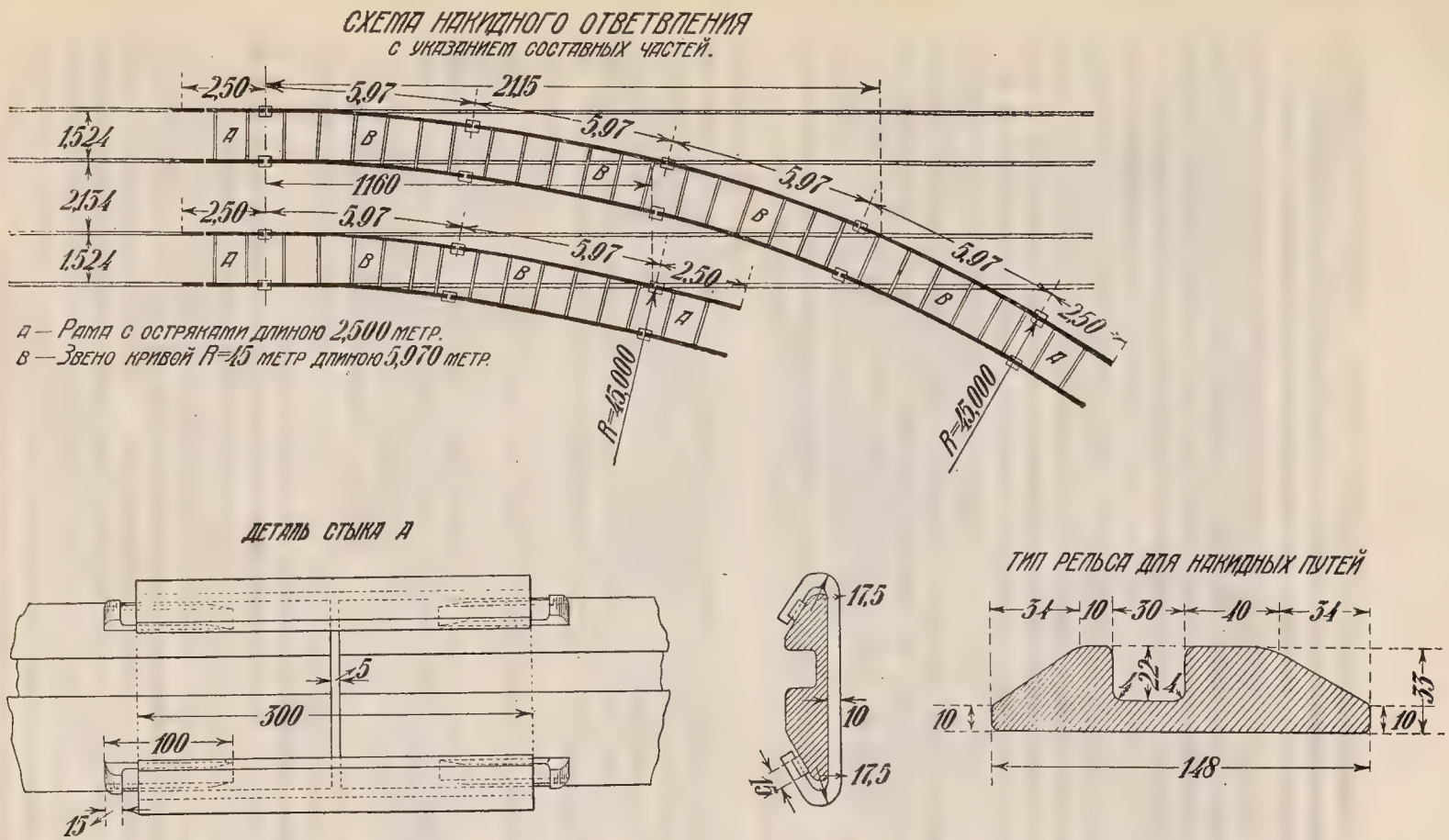
Обыкновенные пути из рельсов Виньоля требуют замощения колеи для возможности экипажного движения, укладка их сопряжена с значительной затратой, требует много времени, вследствие чего замедляется открытие работ на определенных участках.

Вообще говоря, временные пути из рельсов Виньоля рациональны лишь в тех случаях, когда они впоследствии могут служить для открытия новых линий второстепенного значения, в остальных случаях они не экономичны, и применение их в большом размере вряд ли может быть признано рациональным.

От временных путей, как таковых, требуется быстрота и дешевизна укладки, легкость переноса их на другое место, возможность быстрого соединения с законченными участками пути для открытия по ним движения, не прекращая дальнейшей укладки, без перерыва в рельсах.

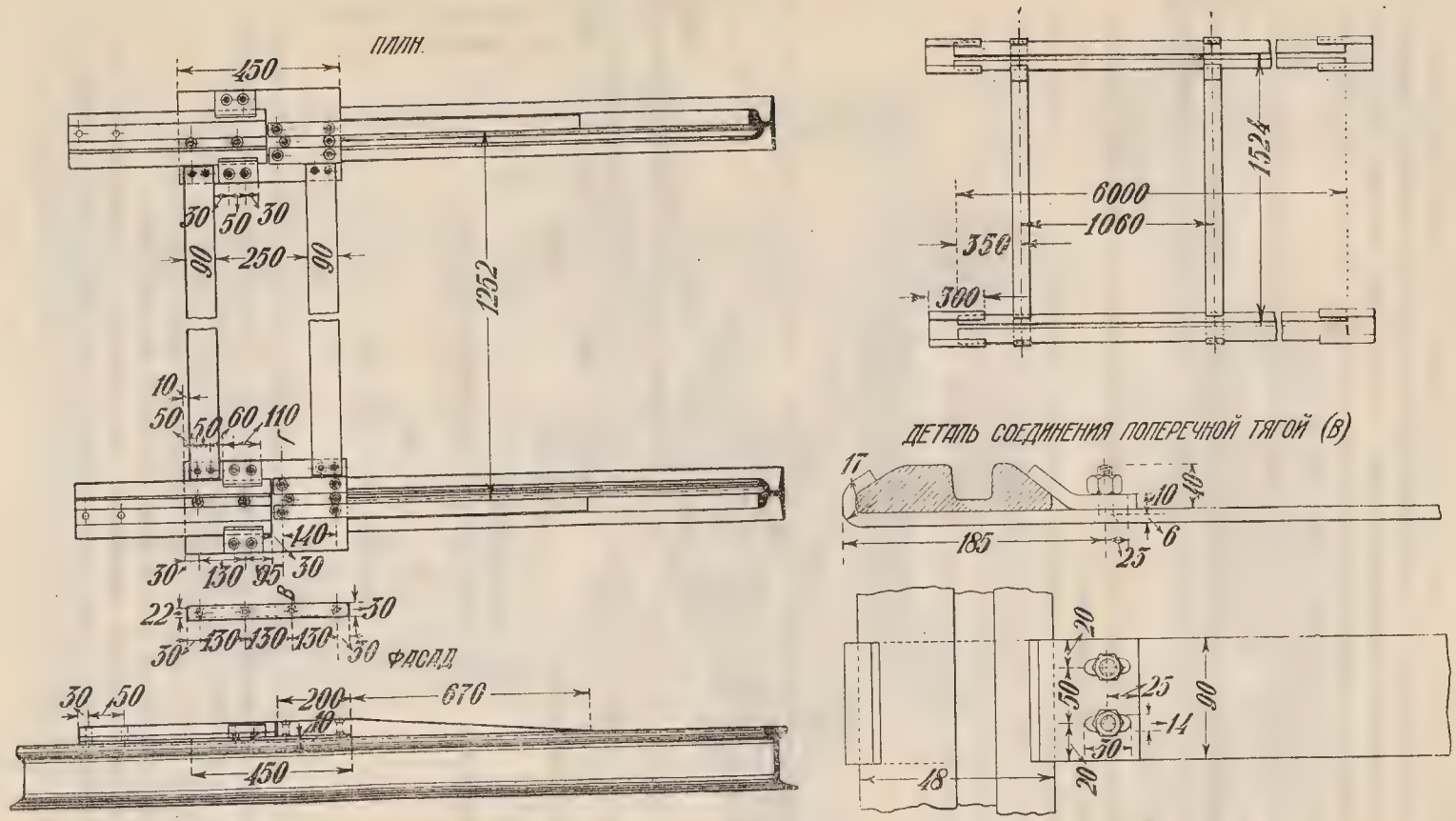
Этим требованиям вполне удовлетворяют накидные пути и переходы.

На чертеже 361 (1—6) представлена схема накидного ответвления и детальные чертежи рельса, отдельного звена и стыкового башмака.



Черт. 361.

Схема накидного ответвления с деталями.



Черт. 361 (продолжение).

Остряковая рама, отдельное звено и деталь соединения попер. тягой

Профиль рельса и конструкция отдельного звена дают возможность укладывать накидной путь непосредственно на мостовую с легкой подбивкой песком и пришивкой костылями через 1 м. к кольям, забитым в мостовую.

Соединение накидного пути с путем из рельсов Феникса или Виньоля осуществляется, как показано на чертеже 361.

Ответвление состоит из двух или трех кривых звеньев и остряковой рамы.

Конструкция рамы такова, что она прямо накладывается на постоянный путь и удерживается на нем при помощи выступов, приклепанных к подошве рамы.

Эти выступы входят в желоба рельсов Феникса или зажимаются между головками рельсов Виньоля.

Вагон входит по острякам рамы на накидной путь и следует на ответвление, при этом концы рельсов постоянного пути свободны, что позволяет вести дальнейшую укладку рельсов без перерыва.

Схема накидного перехода представлена на черт. 362.

Черт. 362.

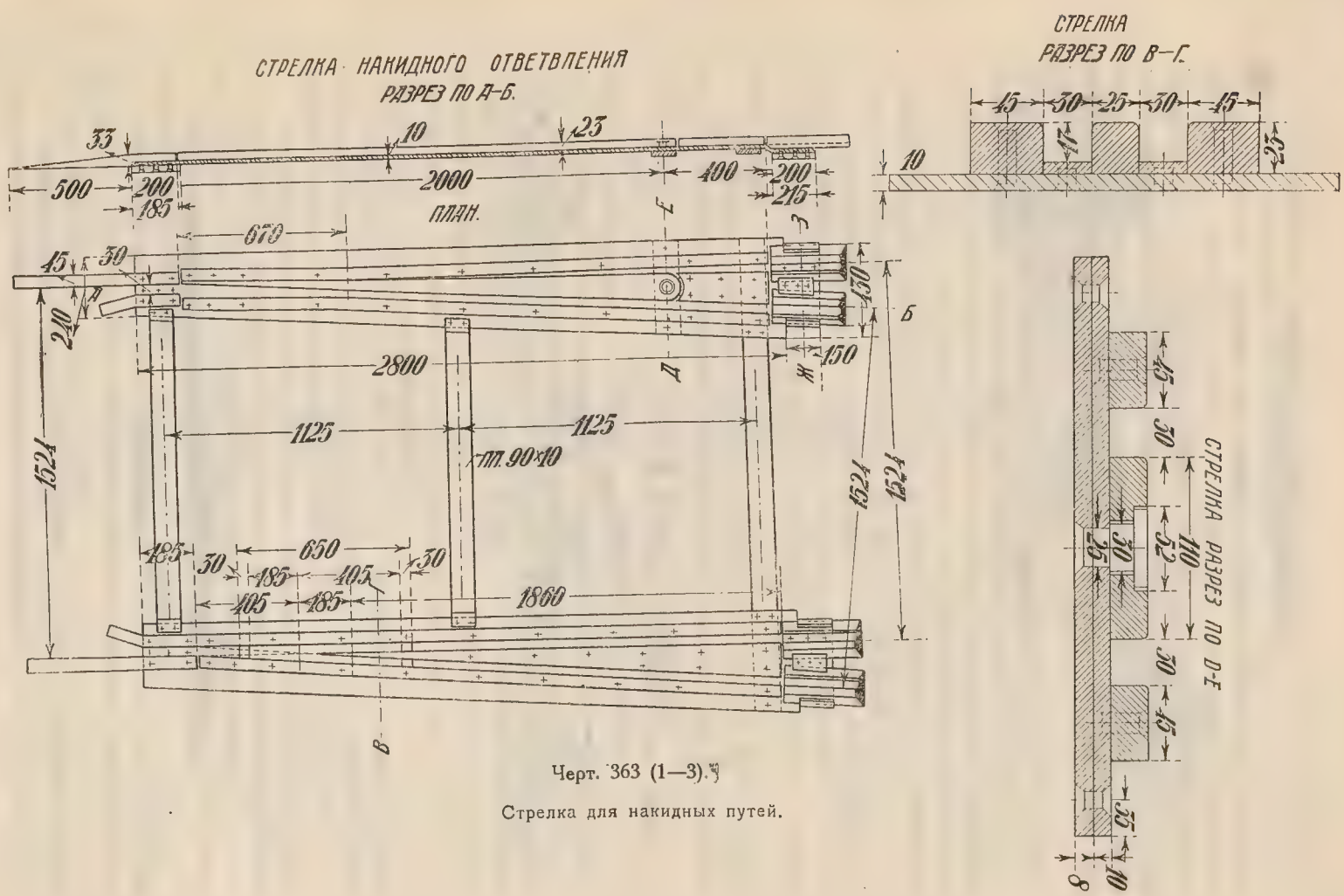
Схема накидного перехода.

Части накидного перехода см. черт. 363 (1—6) состоят из стрелок, крестовин, соединительных рам, стрелочной и крестовинной вставки для широкого междопутия и остряковых рам для крестовин.

Остряки стрелки непосредственно приклепаны к ее подушке.

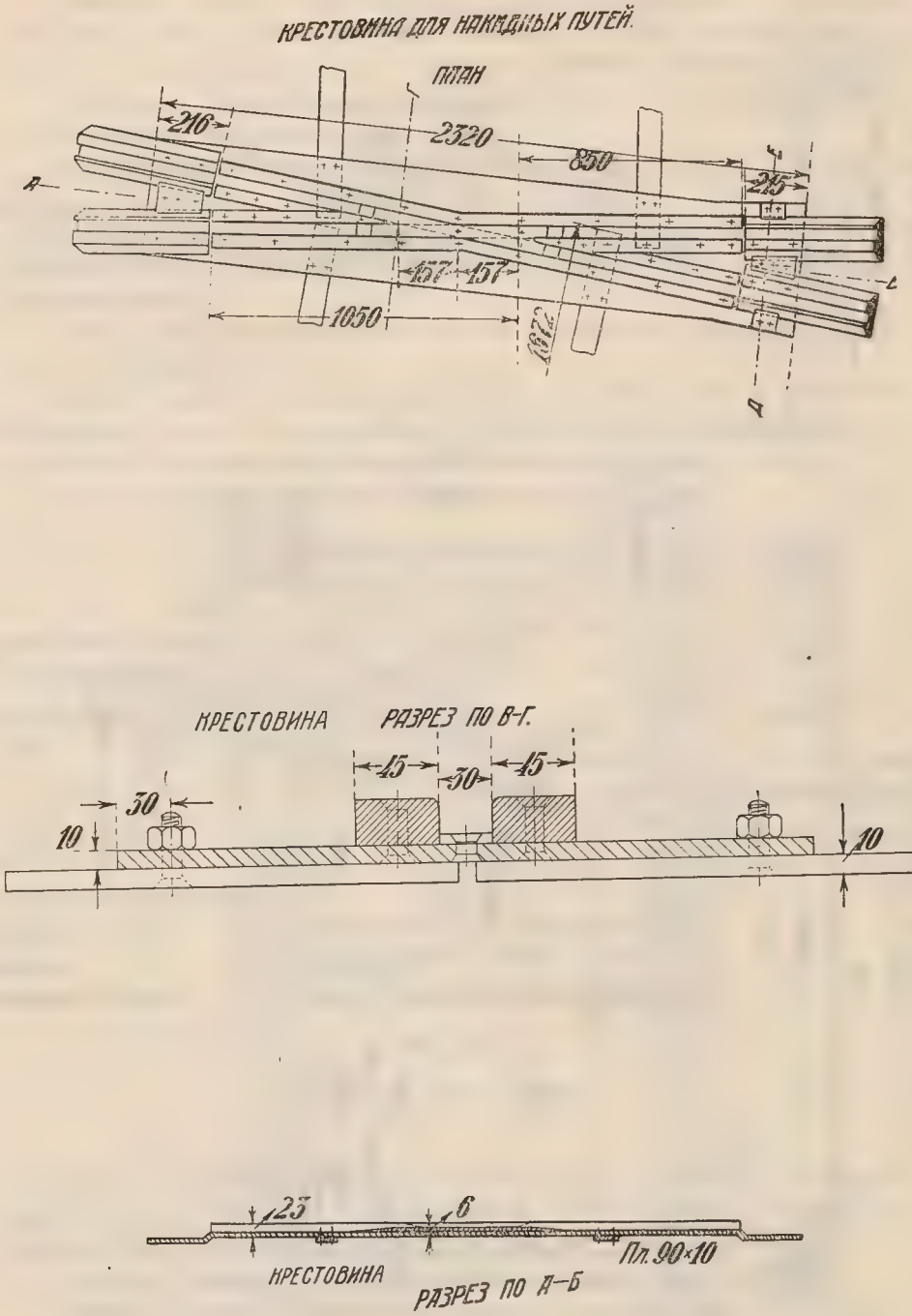
Детали стрелки и крестовины показаны на чертежах.

Накидные переходы незаменимы при работах по участкам при движении с пересадкой. В одну ночь переход легко может быть передвинут на другое место, для чего нужно не более 10 человек рабочих.



Черт. 363 (1—3).

Стрелка для накидных путей.



Черт. 363 (4—6).

Крестовина для накидных путей.

Все остальные части пути и стрелок не превышают по весу 10 пудов и могут быть подняты 4 — 6 рабочими.

Соединение отдельных звеньев при помощи башмаков достаточно обеспечивает прочность стыка для временного движения. Применение накидных путей в Ленинграде было ограничено полосой улицы занятой постоянными путями из боязни затруднить экипажное движение, вследствие этого получалась смешанная укладка: в пределах путей — накидные ответвления и далее, в пределах самой улицы — временные пути из рельсов Виньоля.

Для иллюстрации на чертеже 364 представлены схемы работ, произведенных на Забалканском проспекте, от Сенной площади до Обводного канала, и по укладке узла № 20 на углу Обводного канала и Забалканского проспекта.

Схема 1 показывает 1-й период. Работой занята часть путей и узлов, заштрихованная на чертеже. Движение происходит по временным путям *A* и *B* из рельсов Виньоля и частью по старому пути *C*.

По окончании укладки движение было переведено при помощи накидных ответвлений *Н. О.* 1 и *Н. О.* 2 и накидного перехода *Н. П.* 3 на уложенный участок, временные пути разобраны, и работой занят заштрихованный на схеме 2 район.

От Технологического Института до Обводного канала было установлено пересадочное движение, для возврата вагонов уложены два комбинированных перехода *Н. О.* 4 — *Н. П.* 5 и *Н. О.* 5 — *Н. П. П.* 6.

Возврат вагонов в бывший Московский парк (ныне парк имени Коняшина) производился по 1-й Роте и Измайловскому проспекту.

Схемы 3 и 4 показывают последовательность работ укладки узла на Забалканском проспекте, у Обводного канала.

Необходимо было сохранить соединение уложенных у Городской бойни путей со старыми путями Обводного канала, чтобы не отрезать доступ в Московский парк. Для этого были уложены временные пути из рельс Виньоля *A* и *B* и соединения их с новыми путями при помощи накидного ответвления *Н. О.* 1 и перехода *Н. П.* 2.

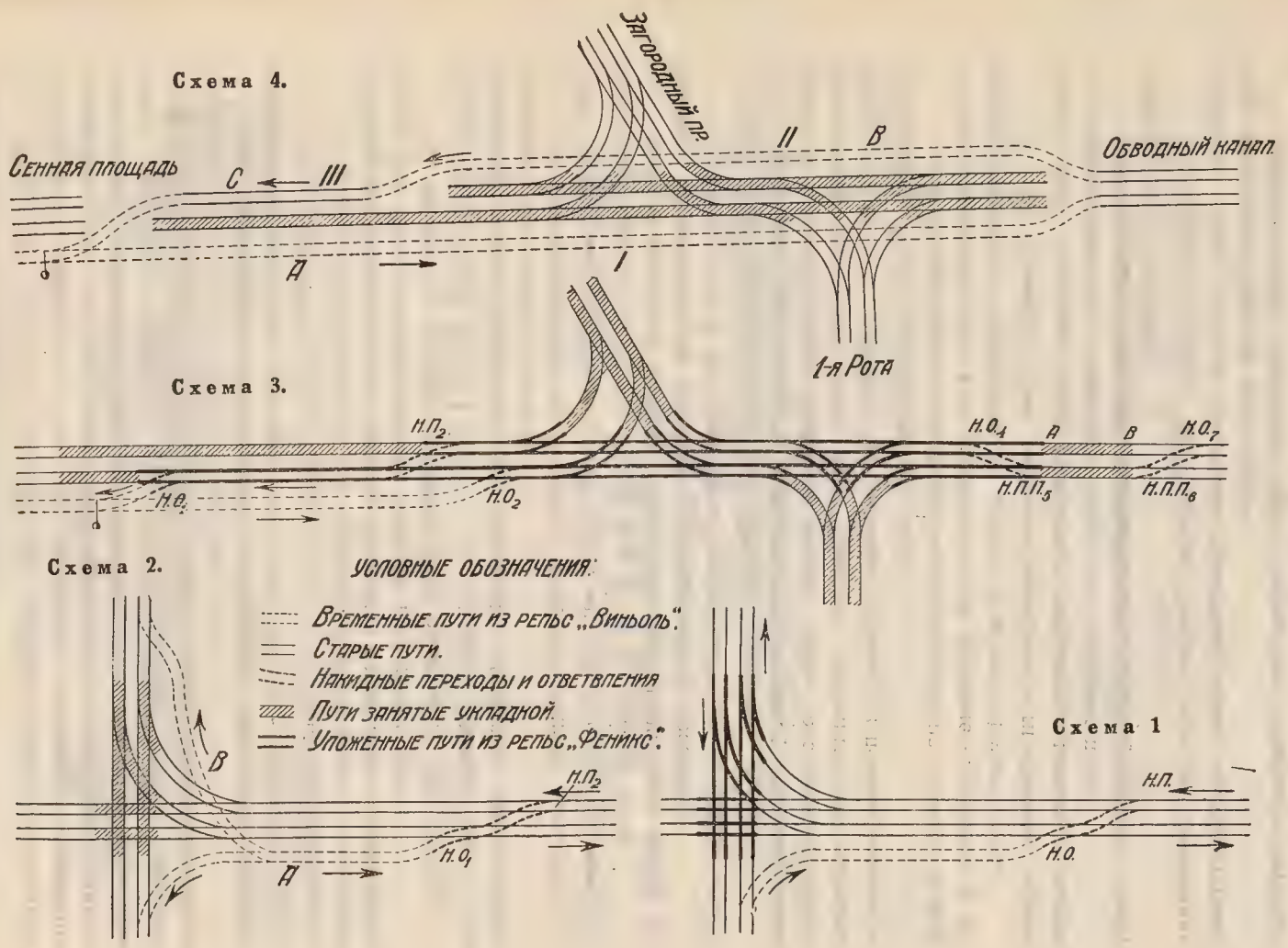
В работу была взята часть путей, заштрихованная на схеме 3. Второй период — в работе часть узла, заштрихованная на схеме 4. Кривая *B* разобрана, движение совершалось по кривой *A* и готовой части узла.

Из этих примеров видно, насколько накидные пути облегчают производство работ по укладке, давая возможность открывать движение по частям на готовых участках и сокращая этим длину обходных путей.

Действительно, благодаря их применению удалось уменьшить длину обходных путей на 30%.

Экономический эффект был бы еще больше, если бы применение накидных путей не было ограничено пределами полосы, занятой путями. Это ограничение вряд ли рационально.

Профиль рельса накидного пути приноровлен к легкости переезда через него экипажей: рельс имеет высоту всего $1^1/_2''$ и скошенные боко-



Черт. 364.

Схемы последовательности работ по укладке трамв. путей в Ленинграде.

вые грани. При производстве работ не замечалось затруднения в экипажном движении в тех местах, где накидные пути были уложены в пределах улиц.

Опыт укладки линий 1-ой очереди, общим протяжением около 50 в. двойного пути, показал с очевидностью, что при рациональном ведении дела накидные пути являются совершенно необходимыми, как при постройке городских железных дорог, так и при их эксплоатации.

Быстрота и дешевизна их укладки, сравнительно небольшая стоимость, простота конструкции и легкость ремонта ставит их вне всякого сравнения с укладкой временных путей из рельсов Виньоля.

При указанном размере постройки все случаи удалось обслужить в Ленинграде шестью накидными переходами и 15 ответвлениями.

Каждый переход был уложен не менее, как в трех местах, и по окончании постройки потребовался лишь незначительный ремонт для приведения их в полную пригодность для дальнейшей работы.

Практика показала, что в конструкцию стрелки следовало бы внести некоторые изменения.

Прямой подвижной остряк дает слишком большой угол с направлением рельса, вследствие чего вначале наблюдались сходы вагонов с рельсов при проходе с накидной стрелки на постоянный путь.

Этот недостаток был уничтожен устройством выступающих контррельсов.

Казалось бы возможным спроектировать подвижной остряк по дуге круга, что при той же длине стрелки уменьшило бы угол между очертанием остряка и рамного рельса.

Указания на этот счет имеются в английской литературе, где приводится накидная стрелка с очертанием остряка по дуге круга радиуса 60.

Работы по ремонту пути городских электрических жел. дор.

Общие условия производства ремонтных работ.

Специальные условия работы верхнего строения пути городских электрических жел. дор., создавшие совершенно особые типы оснований, рельсов, скреплений, стрелок, крестовин и проч., значительно усложняют ремонтные работы по содержанию пути.

Главные факторы, обуславливающие особый характер ремонтных работ, следующие:

1) Значительная частота движения, доходящая в некоторых местах до полуминутных интервалов между поездами, причем в ночное время движение прекращается в продолжении не более 4 — 5 часов.

2) Замощение рельсовой колеи, затрудняющее производство работ.

3) Применение особых типов оснований; бетонные основания разных типов.

4) Применение мощных типов рельсов и специальных конструкций стрелок и крестовин из марганцевой стали.

5) Специальные условия прохода подвижного состава по кривым малых радиусов, влекущие за собой значительный износ рельсов.

6) Присутствие в любом месте пути электрической энергии, дающей возможность применения для работ электрических двигателей самых разнообразных конструкций.

В указанных выше пунктах перечислены лишь основные факторы и, конечно, они не исчерпывают всего разнообразия специальных условий. Необходимо отметить, что вследствие недостатка времени, дороговизны работ и возможности легко использовать имеющуюся повсюду электрическую энергию, в данном случае за последнее время обращено большое внимание на замену ручной работы работой механической применением двигателей электрических, бензиновых и пневматических.

В Европе можно указать на значительное количество фирм, занятых исключительно изготовлением и продажей инструментов и машин для ремонтных работ пути, и некоторые инструменты поражают остроумием их конструирования и эффектом производительности работы.

В общем хозяйстве городских электрических железных дорог смета службы ремонта пути составляет весьма значительную часть, так, например, для Ленинградского трамвая она достигает до 15% общей суммы расходов по эксплоатации электрических дорог; необходимо отметить, что в данном случае в работы по ремонту путей не входят работы по капитальному ремонту, как сплошная смена рельсов шпал и проч. Принимая и их к учету, общий расход получим в 20%—25%. Во всяком случае, общая сумма настолько велика, что каждое улучшение в способах производства работ, ведущее к их удешевлению, весьма ценно.

Дадим описание ремонтных работ отдельных частей путевого устройства.

Ремонт оснований.

Наиболее распространенный тип основания — это основания на шпалах в песке или в щебне, основания на сплошном слое щебня или на щебне в виде продольных канавок и основания бетонные.

Шпальные и щебеночные основания. Шпальные и щебеночные основания по ремонту их мало отличаются от работ железнодорожных: ремонт сводится к исправлению толчков и просадок посредством подбивки.

Очевидно, что работы эти сопряжены с разборкой и перемощением мостовой и в зависимости от этого рационально вести их одновременно с другими работами, требующими того же перемощения.

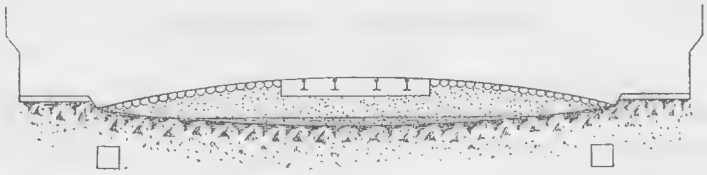
Поэтому следует избегать непланомерной работы по исправлению отдельных толчков и вести работу участками, причем одновременно выверить ширину колеи, подтянуть болты, добить костыли и проч.

Необходимо отметить, что практика Ленинградского и Московского трамваев указывает на необходимость сплошной подбивки пути на первый или второй год после их укладки, причем после этой работы путь держится удовлетворительно весьма продолжительное время.

Каждое перемощение мостовой, вызванное ее состоянием, необходимо использовать и для ремонта пути; если следовать этому правилу, то при мостовых из булыжного камня можно с уверенностью сказать, что удовлетворительное состояние мостовых гарантирует хорошее состояние пути.

При щебеночных основаниях на шпалах необходимо обращать внимание на достаточное количество щебня.

Так как для устройства этих оснований щебень смешивается с песком в количестве от 20% до 30% по объему, то при раскрытии ящиков смесь эта нарушается, и при подбивке и обратной засыпке яшиков щебень может оказаться наверху. Нужно следить, чтобы подбивка шпал производилась одним щебнем, так как песок вследствие своей мелкости проникает внутрь и в нижних слоях находится в избытке.



Черт. 365.

Переустройство вогнутого профиля улицы на выпуклой (на б. Архирейской ул. в Ленинграде).

Нередко при сплошных подбивках щебень приходится добавлять, но никогда не добавляется песок. Это правило остается в силе и для щебеночных оснований без шпал, причем для подбивки подошвы рельса нужно употреблять мелкий щебень не свыше $1'' - 1^1/_2''$.

Инструменты для подбивки те же, что и при аналогичных работах на железных дорогах, т. е. железные подбойки, правила, кирки и пр.

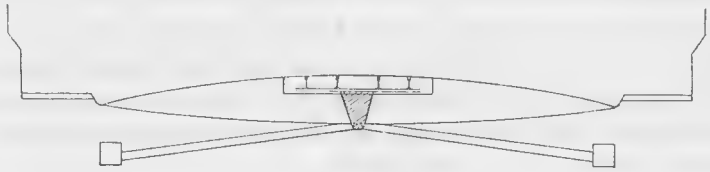
На некоторых Европейских трамваях в последнее время стали применять пневматические подбойки, но они не получили пока широкого применения; о них будет сказано ниже при описании ремонта бетонных оснований.

Значительные просадки пути в большинстве случаев являются результатом ненадежных грунтов и отсутствия хорошего отвода воды. В таком случае одна подбивка пути не улучшит его состояния, и необходимо принять другие меры, а именно, дренировать основание.

В этом отношении не следует экономить при постройке, так как последующая стоимость дренажа при эксплоатации значительно выше. Как пример, можно привести укладку путей на ул. Льва Толстого (б. Архирейской ул.) и Лебяжьем шоссе, в Ленинграде.

В первом случае до постройки улица имела вогнутый профиль (см. черт. № 365).

Он был изменен на выпуклый досыпкой песка без планировки старого грунта, и в результате получилось скопление воды в пониженном месте первоначального профиля, которое повело за собой расстройство пути в таком размере, что при проходе вагона вода фонтаном била из-под прогибающихся рельсов. Для устранения этого явления пришлось заложить продольный дренаж из щебня с выпусками поперечными дренажами в канализационные трубы у тротуаров (см. черт. 366).

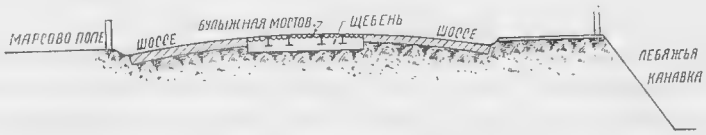


Черт. 366.

Продольный дренаж по оси междопутия.

После принятия этой меры путь установился и держался весьма удовлетворительно.

В данном случае, при постройке следовало бы спланировать имеющийся загрязненный и мало водопроницаемый старый грунт выпуклым профилем и затем возводить песчаную подсыпку, устроив поперечные дренажи лишь в местах выпуска воды из желобов рельсов.



Черт. 367.

Укладка трамв. путей на Лебяжьем шоссе в Ленинграде.

Очевидно, эти работы были бы значительно дешевле последующего устройства продольного и поперечного дренажей закладываемых на большой глубине.

Во втором случае, на Лебяжьем шоссе, получилась такая картина (см. черт. № 367): старая каменная одежда шоссе была выбита по середине, котлован заполнен щебнем, и на нем уложены рельсы с замощением булыжной мостовой. Поперечные дренажи от основания сделаны не были.

В первый же год после открытия движения получились значительные просадки пути, которые не исчезли несмотря на двукратную сплошную подбивку пути, особенно сильно они обнаружились в дождливое время.

Очевидно, причиной просадок служила вода, скопляющаяся в щебеночном основании и не имеющая выхода вследствие загрязнения дренажного слоя шоссе и отсутствия поперечных дренажей. В данном случае единственно рациональной мерой ремонта пути является устройство поперечных дренажей от подошвы щебеночного основания.

Из приведенных примеров ясно, насколько существенную роль в устройстве и ремонте оснований пути играет хороший дренаж основания, и во избежание ошибок в принимаемых мерах исправлений необходимо обращать на это обстоятельство особое внимание.

Бетонные основания. Ремонт бетонных оснований по первоначальным предположениям казался явлением редким и предвиделся лишь, как попутные работы при сплошной смене рельс.

В действительности, такой взгляд не оправдался для большинства типов, и лишь наиболее солидные конструкции с заделкой анкеров и при эластичных прокладках, с применением сваренных стыков, не требуют ремонта; все же остальные типы в большей или меньшей степени расстраиваются и требуют ремонта весьма сложного и дорогого.

Наиболее часто встречающееся расстройство бетонного основания это раздробление бетона под подошвой рельса.

Почти все типы оснований, особенно без эластичных прокладок, в большей или меньшей степени страдают этим недостатком, и для исправления необходимо, в зависимости от типа основания, удалить разрушенную часть бетона и образовать достаточной величины пустоту под подошвой для заполнения ее вновь надежным материалом.

Что касается материала подбивки, то он должен обладать эластичностью и способностью быстро твердеть, если работы производятся по ночам без отвода движения на временные пути.

Способов ремонта существует несколько, и применяются различные материалы. Во всяком случае, работа помимо перемощения состоит из двух основных работ:

1) Раздробление старого бетона на глубину достаточную для образования свободного пространства для заполнения новым материалом.

2) Подбивка и заполнение полученной пустоты новым материалом.

Работы производятся или по ночам без отведения движения на особые пути, или с выделением ремонтируемого участка и отведением движения.

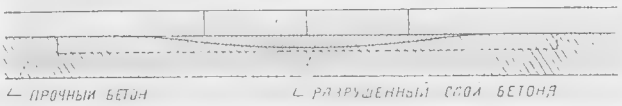
Выбор того или другого способа работ зависит от местных условий: от ширины улицы, от интенсивности экипажного движения, от степени расстройства пути, от имеющихся постановлений и правил, обусловливающих допустимые способы работ.

Тот или другой способ работ мало отражается на приемах работ по раздроблению старого бетона и отзывается лищь на продуктивности работы.

Выломка старого бетона. В России раздробление бетона производится вручную стальными клиньями в виде коротких ломов при помощи ударов кувалдами или молотками. При твердом бетоне и необходимости выбить его на значительную глубину работа идет крайне медленно.

Чтобы дать представление об этой работе, приведем более детальное объяснение причин и хода разрушения бетонного основания.

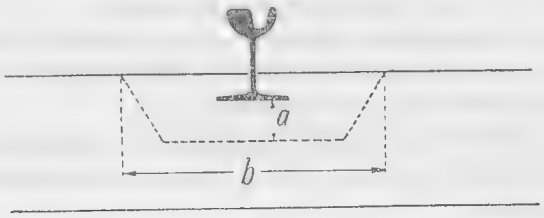
Разрушение бетона под подошвой рельса, как следствие жесткости основания при отсутствии эластичных прокладок, начинается обыкновенно в стыке рельсов вследствие его ослабления. Получаются удары и колебания одного рельса относительно другого, стык начинает, как говорят, дышать.



Черт. 368.

Местное разрушение бетона под стыком.

По мере увеличения амплитуды этого колебания раздробление бетона вследствие постоянных ударов увеличивается и продвигается от стыка к середине рельса. Если во время исправить дыхание стыка, то можно приостановить дальнейшее раздробление бетона. Дыхание стыка является результатом не только расстройства скреплений, но и выбоин в рельсе, вследствие чего рационально одновременно с ремонтом основания ремонтировать и выбитый стык.



Черт. 369.

Ремонт бетонного основания.

Таким образом, в зависимости от состояния пути приходится либо производить лишь местную выбойку бетона под стыками, либо выламывать бетон сплошь на больших протяжениях.

На чертеже 368 изображен продольный разрез пути на бетонном основании, на котором схематически изображено местное разрушение бетона под стыком. Пунктирной линией показаны пределы выбойки бетона.

На чертеже 369 показан поперечный разрез бетонного основания и пределы выбойки пунктирной линией. Размеры канавки, выбиваемой под подошвой рельса, зависят от размеров разрушения бетона и от материала, которым производится подбивка рельса. В случае подбивки бетоном необходимо дать большую глубину канавке для возможности произвести подбивку металлическими подбойками, в этом случае глубина канавки под подошвой рельса должна быть около 0,03 с.; в случае заполнения пустоты под подошвой рельса жидкой массой из смеси тринидат-гудрона или леммеровской мастики посредством подливки, глубина канавки под подошвой рельса может быть не более 0,01 сажени.

Ширина канавки зависит обыкновенно от способа производства работ и колеблется от 0,15 с. до 0,20 с.

Конечно, размеры канавки должны соответствовать размерам разрушенного бетона, так как для успешности работы весь расстроившийся бетон должен быть выбит. Необходимо отметить, что в большинстве случаев требования возможности осуществить подбивку вызывают большие размеры канавок, тогда приходится выламывать часть вполне крепкого бетона. В виду этого работа по выбойке канавок весьма затруднительна, и в Европейских трамваях находят более выгодным применять механические приспособления для этой цели. В Германии, в Берлине и Дрездене с этой целью употребляют электро-пневматические дробилки, которые дают значительный эффект работы.

Прибор состоит из электрического мотора, компрессора и резервуара для сжатого воздуха помещенного на колесной фуре. Из резервуара идут особые эластичные шланги, по которым сжатый воздух передается к дробильным молотам особого устройства.

Интересны сравнительные данные стоимости работ по выбойке канавки, полученные в Дрезденском и Берлинском трамваях.

Выбита в бетоне канавка шириной 600 мм., глубиной 300 мм.,
длиной 200 м. за 20 часов при работе 4 чел. пневматическими молотами,
„ 150 м. за 25 „ „ „ 20 „ ручной работой стальными клиньями.

Таким образом, на 100 метров канавки при машинной работе нужно 40 рабоч. часов. На те же 100 м. при ручной работе нужно 333 рабоч. часа, т. е. в первом случае работа продуктивнее в $8^1/_2$ раз.

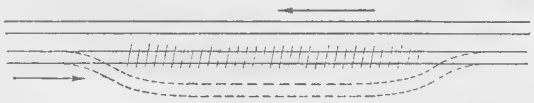
При пользовании электрической энергией расход ее и стоимость незначительны.

Прибор дает возможность работать сразу 4 — 6 молотами при длине шланг около 80 метров, при объеме резервуара около 4 метров и давлении воздуха в 5 — 6 атмосфер.

При выборе того или иного способа работ необходимо иметь в виду количество работ, чтобы окупить в небольшое количество лет единовременные затраты по приобретению механизма.

Подбивка рельсов. Как уже было выше указано, выбор материала для заполнения образовавшейся пустоты зависит от способа производства работ: с прекращением или без прекращения движения по ремонтируемому участку.

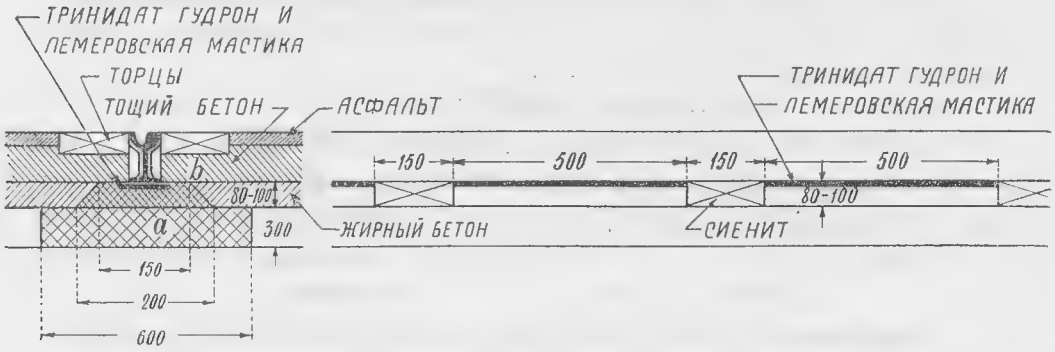
В первом случае можно брать материал медленно твердеющий; во втором — необходимо остановиться на материале быстро твердеющем. При работах первой категории, преобладающих в Европе, движение вагонов отводится в сторону посредством накидных путей, описанных выше.



Черт. 370.

Отвод движения при ремонте участка пути.

На чертеже 370 пунктиром показаны накидные пути, причем на заштрихованном участке движение не производится и он берется в работу. Материалом для подбивки в данном случае служит бетон в той или другой форме, причем для ускорения работы иногда употребляют заранее приготовленные железобетонные плиты; этот способ широко применяется инженером Буссе в Берлине. В Англии, в Шеффильде, выламывают весь бетон из-под рельса и заменяют его новым бетоном.



Черт. 371.

Бетонное основание Дрезденского трамвая.

Работа в Дрездене ведется следующим образом:

На чертеже 371 изображено бетонное основание Дрезденского трамвая в поперечном и продольном разрезах.

Выламывают под рельсом продольную канаву на глубину от 80 мм. до 100 мм. под подошвой рельса, шириной около 600 мм.

Если и нижний слой бетона расстроен, то выламывают на полную его толщину. В части *a* на глубину около 300 мм. заливают новый бе-

Черт. 372.

Бетонное основание в Берлине.

тон, состава: 1 ч. цемента, 4 ч. песка, 6 ч. щебня, и после его отвердения кладут на него отдельные камни (сиенит) в расстоянии около 500 мм.

Черт. 373.

Ремонт бетонного основания в Берлине.

и промежутки заполняют бетоном, состава: 1 ч. цемента, 2—3 ч. гравия; под подошву рельса подливают смесь тринидат-гудрона и леммеровской

мастики. Остальное выбитое пространство заполняют более тощим бетоном, на котором устраивается асфальтовая мостовая.

Сиенитовые камни служат маяками, на которых лежит рельс до затвердения слоя бетонной подбивки. В Берлине эти камни заменяют железобетонными плитами, которые кладут в расстоянии 1200 мм., подбивая их цементным раствором.

На чертеже 372 изображено бетонное основание в Берлине на железобетонных плитах. Выломку бетона производят продольными канавками шириной 600 мм. и глубиной 300 мм.

Фотография 373 иллюстрирует производство работ в Берлине по ремонту бетонного основания с отводом движения на временные боковые пути.

Черт. 374.

Схема движения при ремонте узла.

Как в том, так и в другом случае, работы ведутся с прекращением движения на ремонтируемом участке, с отводом его на накидные пути; длина участка взятого под работу около 150 с.

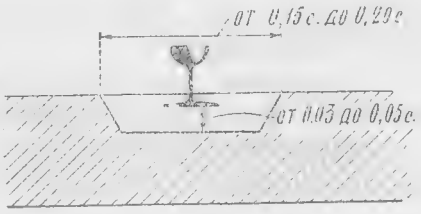
Фотография 374 иллюстрирует укладку временных обходных путей при ремонте основания узлового соединения.

В случае, если по местным условиям прекращение движения на ремонтируемом участке неисполнимо, то приходится применять для подбивки быстро твердеющий материал.

В этом отношении наиболее подходящим материалом является асфальт и гудрон в смеси со щебнем или гравием.

В Ленинграде подобные работы велись в большом размере.

На чертеже 375 представлена выбойка канавки в бетоне под подошвой рельса; размер канавки от 0,15 саж. до 0,20 саж. в ширину и от 0,03 саж. до 0,05 саж. в глубину, считая от подошвы рельса. Разломка бетона велась вручную стальными клиньями. Заполнение образовавшейся пустоты производилось асфальтовым бетоном посредством подбивки металлическими подбойками. Состав асфальтового бетона по весу следующий: 50 ч. песка, 25 ч. Печерского асфальта, 7 ч. Леммеровского гудрона и 50—60 ч. мелкого гранитного щебня.



Черт. 375.

Выбойка канавки при ремонте бетонного основания в Ленинграде.

Для удовлетворительности работы необходимо обращать особое внимание на качество материала, способ приготовления смеси и подбивки. Песок должен быть крупный, просеянный, без примеси глины. Асфальт естественный, полученный выплавкой битуминозных известняков, без примеси нефти; в России единственным пригодным для этой цели асфальтом является асфальт, изготовляемый в Сызрани на б. Печерском асфальтовом заводе Общества Сызрано-Печерской асфальтовой Горной Промышленности.

Гудрон должен быть естественного происхождения без примеси нефти; в России почти нет такого гудрона, и потому лучше брать заграничный Леммеровский гудрон.

Щебень должен быть из гранитных пород, чистый, промытый от грязи, мелкий, размером от $^1/_2''$ до $1''$.

Для приготовления бетона сначала варят в особых котлах смесь асфальта, песка и гудрона в надлежащей пропорции; варка продолжается около 2-х часов и требует опытных рабочих. Одновременно на больших сковородах или в тех же котлах нагревают щебень, так как холодный щебень скверно связывается с горячим раствором. Когда смесь готова, ее смешивают с равным по объему количеством нагретого щебня; получается густая масса, которая и идет для подбивки. При подбивке необходимо обратить внимание, чтобы пустоты под подошвой рельса были полностью заполнены и масса достаточно уплотнена.

Бетон такого состава твердеет быстро, но всетаки не следует пропускать поезда по вновь подбитым путям ранее, чем через 2 часа.

Если работа произведена с соблюдением вышеуказанных правил, то путь держится хорошо, не дает дыхания рельсов и приобретает эластичность. Для успешности работы без стеснения уличного движения нужно

вести ее планомерно, иметь достаточное количество опытных рабочих и соответствующих приспособлений. Как пример, можно привести производство работ в Ленинграде при замощении колеи торцовой мостовой. Работа велась по ночам, во время прекращения движения с 1 — 2 час. ночи до 6 — 6½ час. утра.

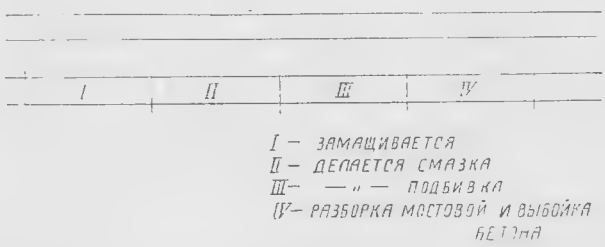
В первую ночь разбирается мостовая на протяжении 45 — 60 м. одиночного пути и выбиваются на этом протяжении канавки под подошвой рельса, причем временно в расстоянии около 0,40 саж. под рельсы забиваются деревянные клинья.

Во вторую ночь на этом участке производится выправка пути по шаблону и уровню, сварка стыков и подбивка асфальтовым бетоном.

В третью ночь делают цементную смазку (из 1 ч. цемента и 2 ч. песка) под мостовую.

В четвертую ночь участок замащивается или выстаивается, в зависимости от степени твердости смазки.

Таким образом, схематически ход работ можно представить в таком виде (см. ч. 376):



Черт. 376.

Схема хода работ по ремонту путей.

В следующую ночь работы передвинутся на один участок вперед, но одновременно будет открыто от мостовой от 45 до 60 саж.

Конечно, эта схема представляет идеальный случай, на практике же весьма трудно добиться такой планомерности работ, но чем настоятельнее она будет проводиться, тем менее будет отступлений, а следовательно, и стеснения экипажного движения в данном месте.

В некоторых городах Европы употребляют для удобства особые перевозные котлы для варки асфальта. Применение их упрощает и ускоряет производство работ.

В Варшаве при аналогичном ремонте применялся другой способ.

В виду меньшего расстройства бетонного основания и отсутствия необходимости выбивать бетон на большую глубину, нашли возможным, вместо подбивки асфальтовым бетоном, исправлять дыхание рельса подливкой под подошву рельса асфальтового слоя из тринидат-гудрона и лем-

меровского гудрона с песком; по отзывам Управления Варшавского трамвая способ этот давал удовлетворительные результаты при толщине подливки не более 0,01 саж.

Не лишне упомянуть, что в Европе на некоторых трамваях стали употреблять для подбивки пневматические подбойки, значительно повышающие, как качество, так и продуктивность работы.

При выборе того или другого способа работ следует учесть все местные условия, как-то:

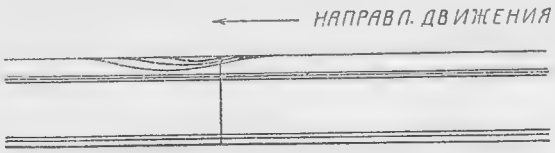
1) Возможность работать с прекращением движения при укладке обходных путей.

2) Степень разрушения бетонного основания и толщину необходимой подбивки.

3) Количество предстоящих работ, чтобы определить выгоду применения механической силы.

Ремонт выбитых стыков.

Попутно с ремонтом оснований надлежит обратить внимание на состояние стыков и, в случае замеченных в них выбоин, устранить их по одному из нижеприведенных способов.



Черт. 377.

Постепенное увеличение выбоины в стыке.

Выбытие стыка—явление часто встречающееся на городских железных дорогах при применении механических стыковых соединений.

Хотя применяемые типы скреплений значительно более солидны, чем аналогичные конструкции железных дорог, но замощение рельсовой колеи не допускает постоянного осмотра стыков и своевременной подтяжки болтов.

Выбоина в стыке начинается, как показано на чертеже 377, и постепенно увеличивается.

Только сваренные термитом стыки не дают выбоин, так как рельс представляет непрерывную поверхность катания при полной однородности металла, все же другие системы мало удовлетворительны.

Рельсовый стык, соединенный накладками, неизбежно ослабевает и при проходе подвижного состава происходят вертикальные перемещения

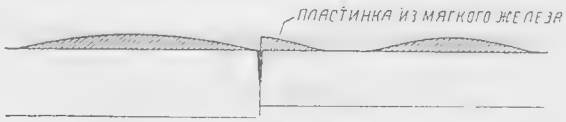
рельсов друг относительно друга, и в результате этого перемещения образуются выбоины в головке рельса непосредственно за стыком по направлению движения. Выбоины достигают глубины в 5 мм. и больше, создают удары и влекут за собой дальнейшее расстройство стыка и основания. В настоящее время применяются следующие способы ремонта.

Сварка термитом. На чертеже 378 схематически показана выбоина стыка до сварки глубиной 5 мм. при общей длине линейки 1250 мм.

Черт. 378.

Выбоина в стыке до сварки.

Для уничтожения выбоин рельсы поднимаются домкратами, как указано на чертеже 379, свариваются термитом, как указано выше, и излишний метал удаляется стругом, при этом, во избежание открытия пути на протяжении 2 звеньев, перемещение рельсов не производится, открывается лишь самый стык, рельсы приподымаются домкратами, между головками загоняется клин, а по вынутии его и фрезеровки торцов вставляется омедненная пластинка, и сварка производится без сжатия рельсов.



Черт. 379.

Ремонт выбоины при помощи сварки.

Способ этот получил широкое распространение и дает хорошие результаты.

Сварка оксигеном до сего времени не дала хороших результатов, хотя в виде опытов производится на некоторых трамваях под давлением рекламирующих себя фирм. Применялась она в виде приварки анкеров и накладок, равно и сварки головок, причем выбоины заполнялись новым металлом. По опытам, произведенным в Ленинградском трамвае, количество лопнувших стыков достигает 50—70%, тогда как при термитной сварке — 0,5 %.

Поэтому способ этот рекомендовать нельзя, по крайней мере, в его настоящем виде.

Сварка электрическим способом (вольтовой дугой), повидимому, налаживается и более экономична, чем термит.

Ремонт выбитых стыков по этому способу производится приваркой накладок и анкеров, сваркой головок и заполнением выбоин новым металлом.

Ток из рабочего провода воздушной линии трансформируется до напряжения 120 вольт, отрицательный полюс соединяется с рельсом, положительный соединяется с электродом из стали в виде проволоки до 3—5 мм. диаметром, которым и производится приварка и наплавление нового металла.

В случае приварки накладок, они плотно стягиваются болтами и привариваются к головке и подошве рельса в нескольких местах, иногда добавляют подошвенную коробчатую подушку. В случае, если выбоина только начинается, то она сглаживается обточкой и дальнейшее ее образование прекращается. В противном случае, выбоина заполняется наплавлением нового металла, который накладывается слоями толщиной 3—5 мм. и приковывается молотом для уничтожения пустот. Затем стык обтачивается стругом или наждачным кругом. Иногда для уничтожения перерыва в головках они свариваются, при чем делается вырез в головках, как показано на схеме, и вырез этот заполняется новым металлом.

По отзывам Ленинградского трамвая электрическая сварка обходится дешевле термитной, но требует специального оборудования.

В виду малого срока службы сваренных этим способом стыков (не более одного года), высказать окончательное мнение о достоинствах этого способа пока еще нельзя, но есть основание предполагать, что для ремонтных работ по исправлению стыков он может оказаться наиболее выгодным и вытеснит термитный способ.

Ремонт выбитых крестовин и стрелок из марганцевой стали.

В этой работе электрический метод дает блестящие результаты.

Применяя электрод из марганцевой стали можно из старой изношенной крестовины или стрелки путем наплавления нового металла, сделать почти новую.

Наплавляются не только выбоины, но целые отломанные части, т. е. производится как-бы новая отливка на месте укладки данной части.

Производство работ то же: наплавленная часть очищается от грязи и ржавчины металлическими щетками и последовательными слоями наплавляется новый металл. Благодаря высокой температуре получается полное сплавление нового металла со сталью старой отливки. По приведении ремонтируемой части к ее первоначальному виду, она обтачивается карборундовыми кругами.

Годовой опыт службы отремонтированных частей дал вполне удовлетворительные результаты и даст в будущем почти неограниченный срок службы узлов.

ЛИТЕРАТУРА.

I. Р. Стецевич и А. А. Каменский. Строительная часть трамваев. Изд. 1913 г.

Труды Постоянного Бюро Всесоюзных Трамвайных съездов 1924 и 1925 г.г.

Arnall. Permanent Way for Tramways and Street Railways.

Holt. Tramway Track Construction and Maintenance.

Proccedings of the American Electrick Railway Engineering Association.

Albert S. Richey. Electrick Railway Handbook.

Higgins. Transition Spiral.

Adolf Knelles. Die Berechnung von Gleis — und Weichenanlagen

Comptes—Rendus detailles congres international de tramways et de chemins de fer d'interet local.

Electrick Railway Journal.

Revue generale des chemins de fer et des tramways.

Electrick Railway and Tramway Journal.

Tramway and Railway World.

Zeitschrift für Kleinbahnen.

Deutsche Strassen — und Kleinbahnen.

Electrische Bahnen.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Введение 1

ГЛАВА I

Ходовые части подвижного состава

Схема передачи давления, жесткая рама, рессоры, буксы, колесный скат, профиля бандажей 13
Глухие оси 15
Свободные оси 16
Одноосные тележки 19
Двухосные тележки 22
Сравнение типов тележек 24

ГЛАВА II

Рельсы

Особые условия работы трамвайных рельсов; постепенное развитие профиля, современные типы, желобчатый рельс „Феникс“ 28
Соотношение между шириной колеи и желоба рельса и элементами колесного ската на прямых участкак пути 33
Данные для определения основных размеров поперечного профиля желобчатого рельса; нормальные профиля 34
Виньолевские рельсы для трамвайных укладок 47
Специальные рельсы для кривых 54
Контр-рельсы на кривых пригородных линий 60
Нормальные рельсы для кривых и конструкции для замены изношенных губок 61
Рельс с повышенным желобом; отверстия в рельсах . . . 68

ГЛАВА III

Стыковые соединения и скрепления

Стыки механического соединения 70
Сварка стыков 75
Стыки смешанной конструкции 89
Тяги, костыли, шурупы, электрические соединения 91

ГЛАВА IV

Основания

Условия работы и классификация оснований 94
Бетонное основание, основные типы 95
Сравнение различных типов и случаи применения 108
Дренаж грунта под основанием и основные размеры оснований . . 110
Устройство примыкания мостовой к рельсам 113
Щебеночное основание, основные типы и случаи применения . . . 114
Шпильное основание на щебеночном и песчанном балласте 118
Общие соображения о применении различных типов 120
Напряжения в частях верхнего строения 121

ГЛАВА V

Водоотвод

Основные типы и случаи применения 128

ГЛАВА VI

Кривые

Движение вагона по кривой и значение переходных кривых 134
Спираль, как переходная кривая, расчет элементов и разбивка . . . 137
Характеристика переходных кривых по спирали, длина элементов, график ускорений 146
Таблицы переходных кривых и выбор кривой в зависимости от местных условий плана 154
Кубическая парабола в применении для разбивки переходных кривых . 167
Лемниската в применении для разбивки переходных кривых 170
Расчет ширины желоба и колеи на кривых 175
Повышение наружного рельса 187
Уширение междопутия на кривых 191

ГЛАВА VII

Узловые соединения

Типовые схемы и основные элементы 195
Работа стрелочного ответвления и его элементы 203
Литые одноперые стрелки 210
Типы укрепления пяты пера 217
Устройство подошвы пера и типы замыкателей 226
Главные условия конструирования литых одноперых стрелок 231
Двуперые литые стрелки и сравнение их с одноперыми 236
Сборные стрелки из рельсов 243
Крестовины 252
Расчет узловых соединений 260
Эпюры стрелок 261
Эпюры крестовин 264
Расчет пересечений двух однопутных линий 272
Расчет односторонних ответвлений однопутных и двупутных линий . 275
Расчет двухсторонних ответвлений двупутных линий 279
Расчет стрелочных переводов и переходов 288
Примеры расчета узловых соединений однопутных линий 294
Расчет стрелочных улиц парков 300
Общие условия проектирования узловых соединений 303

ГЛАВА VIII

Остановочные пункты, станции и парки

Основные типы станций 305
Вагонные парки 313
Типы расположения парковых путей и зданий 316
Устройство смотровых ям 322
Общие выводы 327

ГЛАВА IX

Общие данные проектирования

Ширина колеи 330
Двупутные и однопутные линии 333
Габарит подвижного состава и приближения строений 335
Продольный профиль 341
План линий 343
Поперечные профиля основания, балластного слоя и полотна 354

Шпалы, рельсы, скрепления и конструкция укладки 358
Пересечения путей и переезды 364
Узловые соединения, стрелки и крестовины 365
Станции и парки 370

ГЛАВА X

Производство работ

Влияние местных условий, план работ, разборка мостовой и зеляные работы 379
Устройство оснований и укладка пути 386
Укладка узлов 392
Накидные пути и переходы и их применение 394
Ремонтные работы 403
Ремонт бетонных оснований 404
Ремонт выбитых стыков и литых стрелок и крестовин 415

Проверено 1952 г.